

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

YASSER ALABI OIOLE

BANCADA ESTÁTICA PARA MENSURAÇÃO DA TAXA MÁSSICA DE  
FERTILIZANTES GRANULADOS EM DIFERENTES DOSADORES.

CURITIBA

2019

YASSER ALABI OIOLE

BANCADA ESTÁTICA PARA MENSURAÇÃO DA TAXA MÁSSICA DE  
FERTILIZANTES GRANULADOS EM DIFERENTES DOSADORES.

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Samir Paulo Jasper

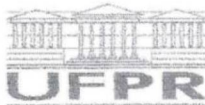
CURITIBA

2019

O39b Oiole, Yasser Alabi  
Bancada estática para mensuração da taxa mássica de  
fertilizantes granulados em diferentes dosadores / Yasser Alabi  
Oiole. - Curitiba, 2019.  
62 p.: Il.,  
  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor  
de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências  
do Solo.  
Orientador: Samir Paulo Jasper  
  
1. Adubos e fertilizantes - aplicação. 2. Semeadura. I. Jasper,  
Samir Paulo (Orientador). II. Título. III. Universidade federal do  
Paraná.

CDU 631.8

Sistema de Bibliotecas/UFPR, Biblioteca de Ciências Agrárias  
Paula Carina de Araújo - CRB9/1562



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DO SOLO -  
40001016014P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **YASSER ALABI OIOLE** intitulada: *Bancada estática para mensuração da taxa mássica de fertilizantes granulados em diferentes dosadores*, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVADO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 12 de Abril de 2019.

SAMIR PAULO JASPER

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

KARINA MARIA VIEIRA CAVALIERE POLIZELI

Avaliador Interno (UFPR)

FABRÍCIO CAMPOS MASIERO

Avaliador Externo (IFC)



*A Deus, dono de toda ciência, sabedoria e poder, dedico.  
E a minha família que nunca me desamparou.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me dado a vida, me iluminar em todos os momentos e por estar ao meu lado nos dias ruins para me sustentar de pé.

Ao meu pai, Sérgio, aos meus tios, Dejair e Marli, Osmar e Célia, minha irmã e meu cunhado, Janaina e Samir pela paciência, compreensão, apoio emocional e financeiro, confiança e amor. Agradeço por sempre me apoiarem nas minhas decisões e me orientarem da melhor maneira, acreditando no meu potencial independente de qualquer situação.

À minha namorada e futura esposa, Patrícia Xavier, por estar comigo em todas as horas difíceis e sempre me apoiar, independente de qualquer coisa nunca saiu de perto de mim, mesmo em meus momentos de estresse, pelo contrário, sempre me acalmou e incentivou a buscar o melhor para meu futuro.

À minha segunda família, Ivone Xavier, Priscila Xavier, Marconi Abreu e Miguel Abreu que me acolheram como membro oficial.

Ao meu orientador, Samir Paulo Jasper, por ter aberto as portas para mim, sem me conhecer como pessoa e ser um profissional de outra área de formação. Obrigado pela atenção diária e por me ajudar a aprender um pouco mais sobre mecanização agrícola, me ajudando a desenvolver o senso crítico e construindo um conhecimento intelectual de qualidade.

Aos demais membros da banca, Fabrício Campos Masiero e Karina Maria Vieira Cavalieri, pela disponibilidade em contribuir com esse trabalho.

À empresa NPKS Fertilizantes – Indústria e Comercialização de Fertilizantes Ltda, em especial para a Monica Silveira Pinto, que não mediu esforços e, prontamente, disponibilizou uma grande quantidade de fertilizante sem nenhum custo, me ajudando grandemente, o meu imenso agradecimento.

Ao meu amigo Marcos Cristiano Machioski e seu pai senhor Onofre, que dispuseram do seu tempo e disponibilizaram o caminhão, sem custo algum, para que pudesse buscar o fertilizante e ainda ajudaram a descarregar tarde da noite na universidade.

Ao meu amigo Thiago Xavier da Silva, por disponibilizar parte do seu tempo para a construção da bancada, não medindo esforços e buscando sempre fazer o seu melhor para que pudesse ter uma qualidade na coleta de dados.

Ao meu amigo Leonardo Leônidas Kmiecik pelo belo trabalho na montagem do sistema elétrico da bancada e também na construção do sistema de aquisição de dados, que demandou alguns dias de trabalho para que estivesse funcionando perfeitamente.

Aos membros do Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA), Adailto Garcia, André Zella, Camila Weber Langhinotti, Daniel Savi, Guilherme Luiz Parize, Leonardo Leônidas Kmiecik, Marcos Cristiano Machioski, Murilo Garcia e Thiago Xavier da Silva, que além de contribuir com a força física para a realização da pesquisa ainda estiveram comigo por esses dois anos distraindo meus dias durante o trabalho.

À Universidade Federal do Paraná, ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela infraestrutura, pela disponibilidade dos professores e laboratórios, e oportunidade de cursar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão de bolsa.

Aos docentes: Afonso Figueiredo Filho, Alessandro Camargo Angelo, Beatriz Monte Serrat, Eloana Janice Bonfleur, Henrique Soares Koehler, Júlio Eduardo Arce, Marcelo Ricardo de Lima, Renato Marques e Samir Paulo Jasper por contribuírem para a minha formação profissional durante esse período.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR, Denise De Conti, por colaborar com todo procedimento burocrático desde a matrícula até o término do mestrado e pelos seus conselhos.

Aos colegas de turma do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo que ingressaram em 2017/1, pelos trabalhos em grupos e companhia.

Em especial, aos meus amigos, que me ajudaram no início e contribuíram para os momentos de descontração. Obrigado ao Ricardo Baratto, Mariana Barroca e Gustavo Valani, por sempre abrir a porta do apartamento, todos os fins de semana e pela companhia nas refeições no RU. Agradeço também Andressa Pereira, Bruna Iversen, Bruna Klein, Jair Augusto Zanon e aos meus amigos “Meliantes” Diomedes Souza, Enrique Fernandez, Hudson Pires, Hugo Pontoni, Jacson Kato, Marco Mendes, Rodolfo Kredens, Ivo Kriki e Rafael Giroto, não podendo esquecer os meus irmãos de tatame que sempre apoiaram com suas experiências e conselhos.

A todos que torcem por mim, meu muito obrigado!

*“Nada é particularmente difícil se você dividir em pequenas tarefas.”*

*Henry Ford*

## RESUMO

A distribuição de fertilizantes granulados é realizada juntamente com a semeadura e adquiriu mais uso com a realização do plantio direto, que busca revolver o mínimo possível do solo, porém devem ser utilizados de forma racional, portanto, a aplicação em taxa variável vem sendo utilizada com o intuito de reduzir o uso, pois tem por finalidade distribuir diferentes quantidades de fertilizante dentro da necessidade específica de área plantada. O objetivo deste trabalho foi analisar a precisão da taxa mássica de diferentes fertilizantes em três mecanismos dosadores e três simulações de velocidades operacionais, com auxílio do sistema de aquisição de dados (SAD) desenvolvido para este fim. O estudo foi realizado no Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas, Setor de Ciências Agrárias, na cidade de Curitiba-PR. Os testes foram conduzidos em laboratório com o uso da bancada para ensaio de mecanismos dosadores de fertilizantes (dois modelos com helicoidais: Fertisystem e Toplanting e um acanalado: Fertidoser). Para os ensaios foram utilizados dois fertilizantes com misturas de grânulos mais usados na região cuja formulação 04-14-08 e 04-30-10, para ambos foram realizadas a caracterização das propriedades físicas. Foi realizada estatística descritiva e posteriormente geraram-se as cartas de controle para a taxa mássica e amplitude. Constatou-se que os coeficientes de variação ficaram todos abaixo de 10%, relatando baixa dispersão dos dados. Dentre os mecanismos dosadores, os que apresentaram melhor distribuição de fertilizante na velocidade de  $4,0 \text{ km h}^{-1}$  foi o Fertisystem e o Toplanting, ambos alcançaram boa distribuição a  $7,0 \text{ km h}^{-1}$  junto com o Fertidoser, porém na velocidade de  $10,0 \text{ km h}^{-1}$  apenas o Fertidoser obteve excelente desempenho e apresentou melhor distribuição.

Palavras-chave: 1. Mecanismo dosador. 2. Semeadora-adubadora. 3. Taxa mássica. 4. Carta de controle. 5. Controle de qualidade



## ABSTRACT

The distribution of granulated fertilizers is carried out together with sowing and acquired more use with no-till, which seeks to revolve as little as possible of the soil, but should be used in a rational way, therefore, the variable rate application has been used with the purpose of reducing the use, since its purpose is to distribute different amounts of fertilizer within the specific need of planted area. The objective of this work was to analyze the accuracy of the mass rate of different fertilizers in three dosing mechanisms and three simulations of operational speeds, using the data acquisition system (SAD) developed for this purpose. The study was carried out at the Laboratory of Adequacy of Agricultural Tractors, Sector of Agricultural Sciences, in the city of Curitiba-PR. The tests were conducted in the laboratory with the use of the test bench of fertilizer dosing mechanisms (two models with helicals: Fertisystem and Toplanting and one grooved: Fertidoser). For the tests two fertilizers were used with mixtures of granules most used in the region whose formulation 04-14-08 and 04-30-10, for both the characterization of the physical properties were carried out. Descriptive statistics were performed and the control charts were then generated for the mass rate and amplitude. It was found that the coefficients of variation were all below 10%, reporting low dispersion of the data. Among the dosing mechanisms, Fertisystem and Toplanting presented the best fertilizer distribution at 4.0 km h<sup>-1</sup>, both of which reached good distribution at 7.0 km h<sup>-1</sup> along with Fertidoser, but at the rate of 10.0 km h<sup>-1</sup> only the Fertidoser obtained excellent performance and presented better distribution.

Keywords: 1. Engine dispenser. 2. Seeder fertilizer. 3. Mass rate. 4. Control chart. 5. Quality control.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CAIXA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO. ....	20
FIGURA 2 - VISTA SUPERIOR DIAGONAL DA BANCADA ESTÁTICA. ....	21
FIGURA 3 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA BANCADA ESTÁTICA COM MOTOR REDUTOR ELÉTRICO E RESERVATÓRIOS DE FERTILIZANTES. ....	21
FIGURA 4 - VISTA LATERAL DA BANCADA ESTÁTICA. ....	22
FIGURA 5 - VISTA LATERAL DA BANCADA ESTÁTICA COM COTAS (MM). ....	23
FIGURA 6 - MECANISMO DOSADOR FERTISYSTEM. ....	25
FIGURA 7 - MECANISMO DOSADOR TOPLANTING. ....	25
FIGURA 8 - MECANISMO DOSADOR FERTIDOSER. ....	26
FIGURA 9 - VISTA LATERAL DA PEÇA INTERNA DO FERTIDOSER. ....	27
FIGURA 10 - VISTA SUPERIOR DAS RANHURAS INTERNAS. ....	27
FIGURA 11 - MECANISMO FERTIDOSER COMPLETAMENTE DESMONTADO. ....	28
FIGURA 12 - INCLINÔMETRO DIGITAL. ....	28
FIGURA 13 - BALANÇA - CÉLULA DE CARGA ENTRE TÁBUAS DE MADEIRA. ....	29
FIGURA 14 - COPO DE MEDIDA. ....	35
FIGURA 15 - TUBO RECEPTOR. ....	35
FIGURA 16 - ÊMBOLO (A) E RÉGUA NIVELADORA OU NAVALHA (B). ....	35
FIGURA 17 - PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DA CAIXA DE VIDRO. ....	36
FIGURA 18 - CAIXA VIDRO PARA MENSURAÇÃO DO ÂNGULO DE REPOUSO. ....	37
FIGURA 19 - VELOCIDADE 4,00 KM H <sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-14-08. ....	45
FIGURA 20 - VELOCIDADE 4,00 KM H <sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-30-10. ....	45
FIGURA 21 - VELOCIDADE 7,00 KM H <sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-14-08. ....	49
FIGURA 22 - VELOCIDADE 7,00 KM H <sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-30-10. ....	50
FIGURA 23 - VELOCIDADE 10,00 KM H <sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-14-08. ....	53
FIGURA 24 - VELOCIDADE 10,00 KM H <sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-30-10. ....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - CURVA DE CALIBRAÇÃO DE HERTZ EM FUNÇÃO DA TAXA MÁSSICA. ....	24
GRÁFICO 2 - CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA BALANÇA 1, 2 e 3. ....	31

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE 04-30-10.....	32
QUADRO 2 - FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE 04-14-08.....	32
QUADRO 3 - GRANULOMETRIA DOS FERTILIZANTES. ....	33

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DETERMINAÇÃO DOS HERTZ PARA SIMULAR AS VELOCIDADES.	23
TABELA 2 - MÉDIA DE PULSOS COLETADOS PARA CADA PESO CONHECIDO APLICADO À BALANÇA.....	30
TABELA 3 - RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DENSIDADE, ÂNGULO DE REPOUSO E TEOR DE ÁGUA DOS FERTILIZANTES.....	41
TABELA 4 - DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS PARA OS DIFERENTES FERTILIZANTES.....	41
TABELA 5 - RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA AS DIFERENTES PENEIRAS COM OS DOIS FERTILIZANTES.....	42
TABELA 6 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TAXA MÁSSICA (TM) PARA OS DOSADORES E FERTILIZANTES AVALIADOS NA VELOCIDADE 4,0 KM H <sup>-1</sup> .....	43
TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TAXA MÁSSICA (TM) PARA OS DOSADORES E FERTILIZANTES AVALIADOS NA VELOCIDADE 7,0 KM H <sup>-1</sup> .....	47
TABELA 8 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TAXA MÁSSICA (TM) PARA OS DOSADORES E FERTILIZANTES AVALIADOS NA VELOCIDADE 10,0 KM H <sup>-1</sup> .....	51



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART	- Artigo
BIT	- Binary Digits (Dígito Binário)
CV	- Cavalo Vapor
DSEA	- Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEC	- Fazenda Experimental Canguiri
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
LATA	- Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas
LCI	- Limite de Controle Inferior
LCS	- Limite de Controle Superior
MAPA	- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PLANTER	- Mecanismo dosador Pulso Zero Fertidoser
PR	- Unidade da Federação – Paraná
QAM	- Quantidade de Adubo por Metro
RPM	- Rotação por Minuto
SAD	- Sistema de Aquisição de Dados
TM	- Taxa Mássica
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UTM	- Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE SÍMBOLOS

® - marca registrada

$\sigma$  – sigma (desvio padrão)

$\Omega$  - ohm

Hz - hertz

MHZ - mega hertz

mV - milivolts

V - volts

W - watts

$R^2$  - coeficiente de determinação

°C - graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....	20
2.2 DESENVOLVIMENTO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DA BANCADA ESTÁTICA.....	20
2.2.1 Modelos dos mecanismos dosadores usados.....	24
2.2.2 Ângulo de inclinação dos mecanismos.....	28
2.2.3 Coleta de dados .....	29
2.2.4 Taxa mássica de fertilizante .....	30
2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS FERTILIZANTES..	31
2.3.1 Granulometria dos grânulos .....	33
2.3.2 Teor de água nos fertilizantes .....	33
2.3.3 Densidade .....	34
2.3.4 Ângulo de Repouso.....	36
2.3.5 Estatística experimental .....	38
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FERTILIZANTES .....	40
3.2 VELOCIDADE 4,0 KM H <sup>-1</sup> .....	42
3.3 VELOCIDADE 7,0 KM H <sup>-1</sup> .....	46
3.4 VELOCIDADE 10,0 KM H <sup>-1</sup> .....	50
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A população mundial está em constante crescimento, tornando a questão alimentar um fator indispensável no planejamento demográfico, pois é necessário produzir alimentos de qualidade e em grande escala, em vista dessa necessidade a agricultura necessitou buscar maneiras de supri-las, assim a mecanização e suas inovações tecnológicas no campo surgiram com a finalidade de contribuir para o aumento da produção alimentar contribuindo pra este fim (KLAVER, 2013; GRISA & SCHNEIDER, 2015; PEREIRA et al., 2017).

No Brasil, segundo a estimativa do IBGE (2019) a safra foi totalizada em 230 milhões de toneladas comparada com o ano de 2018 que foi de 226 milhões de toneladas, havendo um aumento. Dentre elas, três culturas tiveram destaque, sendo os principais produtos arroz, milho e soja que representaram uma área colhida de 93% e quando comparado com o ano de 2016 a área de soja cresceu em 2,1% seguido pelo milho em 11,1% e fechando com o arroz em 2% (CUSTODIO et al, 2016).

Com a necessidade de aumentar essa escala de produção e manter os restos vegetais no solo para conservar o meio ambiente e a microbiota, começou a difundir-se o plantio direto, portanto, sendo necessária a utilização de máquina agrícola capaz de romper as camadas de solo compactadas, quantificar as sementes depositadas nos sulcos abertos, fixar uma camada de solo em volta para cobri-las e por final incorporar fertilizante em uma mesma operação, sendo denominado semeadora-adubadora (KLEIN et al. 2008; SILVEIRA et al. 2011).

Uma semeadora-adubadora possui um conjunto de basicamente cinco sistemas de grande importância que é o corte de palhada, a profundidade de semeadura, compactação de semente, distribuição de sementes e fertilizante que são indispensáveis por garantir uma adequada deposição de sementes e fertilizantes (FURLANI et al., 2013; MANTOVANI et al., 2015).

As configurações das semeadoras-adubadoras podem variar de acordo com a necessidade do produtor e a região, porém são constituídas de chassi ou barra porta-ferramenta, sistema de engate para que possa ser acoplada e/ou arrastada pelo trator, rodados de transporte e mecanismo dosador, reservatório de fertilizante sólido e sementes, unidades de semeadura (linha de precisão ou fluxo contínuo),

estribos e os marcadores de linha que auxiliam na orientação do operador (ARAÚJO et al, 1999; VIZZOTTO, 2014).

Portanto, a aplicação uniforme de micro e macronutrientes são indispensáveis, pois fornecem os nutrientes essenciais na fisiologia das plantas, porém devem ser utilizados de forma eficiente e racional sendo fornecidos na época correta e quantidade exigida pela espécie contribuindo assim para menores impactos ambientais, menores custos e consequentemente maior produtividade e lucro (SOUSA et al., 2011; REYNALDO et al., 2016).

Segundo Costa et al. (1984), citado por Kempski (2006) para que uma semeadora-adubadora seja considerada de precisão é necessário que ela apresente algumas características básicas como taxa adequada de descarga, baixa percentagem de danificação mecânica e uma distribuição homogênea das sementes e fertilizante, sendo essas características afetadas diretamente pela velocidade tangencial dos discos horizontais.

Um dos fatores que pode impedir o êxito da semeadura e fertilização direta são os tipos de solos que passaram por preparo convencional e consequentemente sofreram alterações nas suas propriedades físicas, como por exemplo, a densidade que influencia diretamente na resistência e na resiliência do solo e sucessivamente não oferecem ótimas condições de trabalho (COSTA et al, 2003).

Porém, o fator que realmente é responsável diretamente associado à mecanização e a partes constituintes da semeadora-adubadora que influencia a regularidade da distribuição do fertilizante é o mecanismo dosador que funciona através de um sistema de “rosca sem fim” acionado por uma “roda de terra” por sistema de engrenagens (SCHULZ, 2010).

Para que o mecanismo distribua perfeitamente a dose desejada é necessário estar sempre cheio de fertilizante possibilitando obter-se a regulação de acordo com o modelo da helicóide e a rotação, possibilitando assim o quantificar o fertilizante a ser depositado sob o solo em dose correta evitando que se ocorra desperdício (GARCIA, 2007 & BONOTTO, 2012).

Um fator atrelado ao mecanismo dosador que afeta diretamente a qualidade da distribuição são as características que determinam a qualidade do fertilizante mineral, que são químicas e físicas, porém nesse caso a de interesse é a granulometria, consistência, umidade, fluidez e densidade aparente que mais influenciam na deposição (ALCARDE et al., 1989; REYNALDO et al., 2016).



Devido a grande importância do mecanismo dosador surgiu à necessidade de construir uma bancada para que essa operação de campo seja simulada e possa ser avaliado seu desempenho em uma semeadora-adubadora com base no desempenho do distribuidor de fertilizante com relação à quantidade de punção que é dada e a variação de velocidade (VASCONCELOS, 2011).

Para que a bancada seja precisa é necessário que se construa uma estrutura metálica que permita acionar os mecanismos dosadores de adubo e assim seja possível simular diversas situações de velocidade de trabalho e doses desejadas para que se encontre a melhor regulação de distribuição a ser utilizada (BARROS et al., 2016).

Bonotto et al. (2012) desenvolveu uma bancada da qual sua finalidade era avaliar os mecanismos dosadores de acordo com a inclinação aplicada e sua composição era feita por um sistema de acionamento, com um nivelamento determinado, um sistema de aquisição de dados, porém sem ser em tempo real.

Considerando a importância da fertilização, o objetivo de construir uma bancada com sistema de aquisição de dados para taxa mássica em tempo real seria identificar melhores mecanismo dosadores para distribuição de fertilizante de acordo com as velocidades de operação mais aplicadas à campo, sendo de extrema importância esse dado, pois o mesmo aplicado em excesso no solo é prejudicial às plantas e ao meio ambiente e gera um custo elevado (NASSER et al., 2012; GARCIA, 2011).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA) em parceria com o Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizada no município de Curitiba – PR.

### 2.2 DESENVOLVIMENTO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DA BANCADA ESTÁTICA

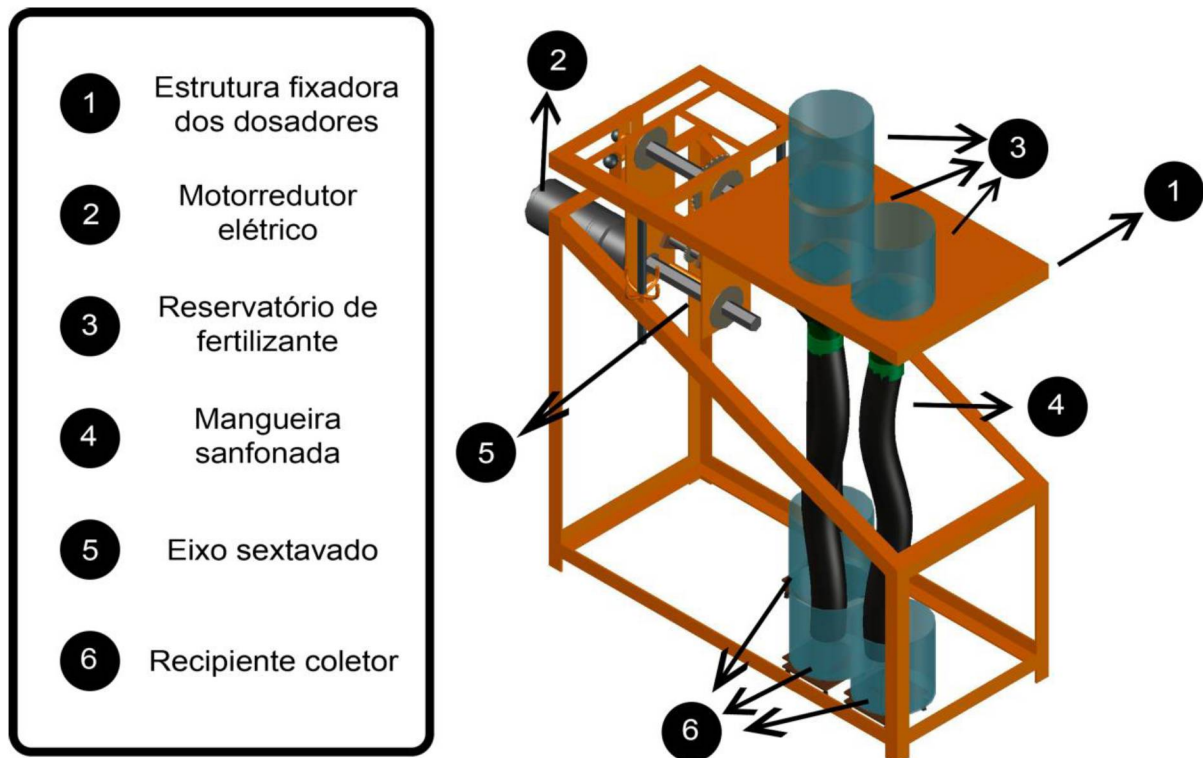
A bancada é composta por uma caixa de acionamento elétrico (FIGURA 1), estrutura fixadora dos mecanismos dosadores e reservatórios (FIGURA 2), um sistema de engrenagens (FIGURA 3), articulações para nivelamento e um sistema de coleta de dados (FIGURA 4).

FIGURA 1 - CAIXA DE ACIONAMENTO ELÉTRICO.



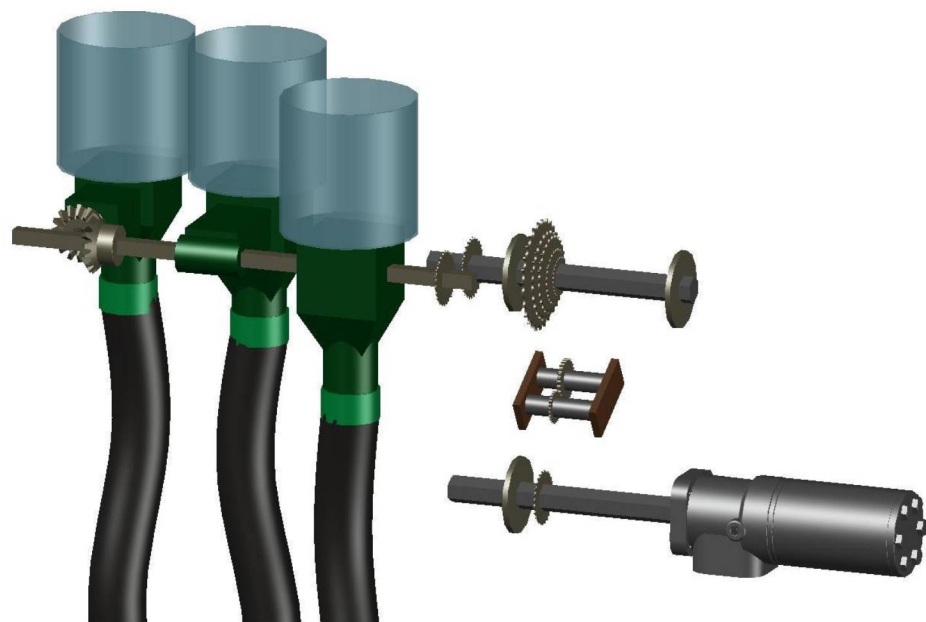
FONTE: O autor (2019).

FIGURA 2 - VISTA SUPERIOR DIAGONAL DA BANCADA ESTÁTICA.



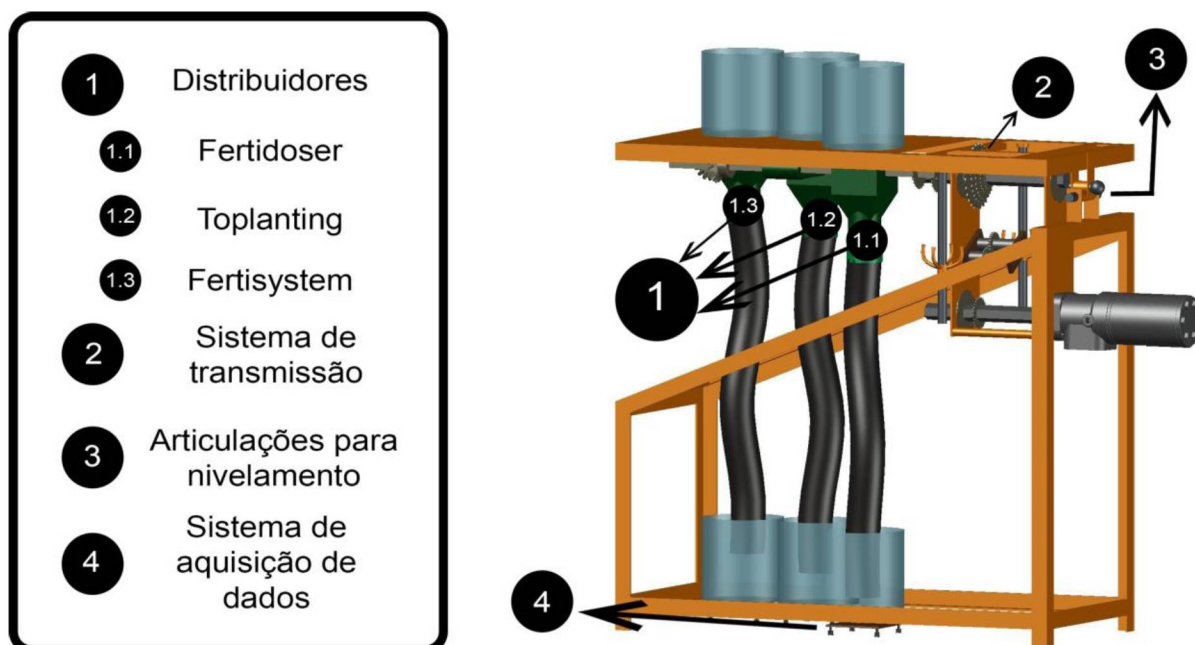
FONTE: O autor (2019).

FIGURA 3 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA BANCADA ESTÁTICA COM MOTORREDUTOR ELÉTRICO E RESERVATÓRIOS DE FERTILIZANTES.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 4 – VISTA LATERAL DA BANCADA ESTÁTICA.



FONTE: O autor (2019).

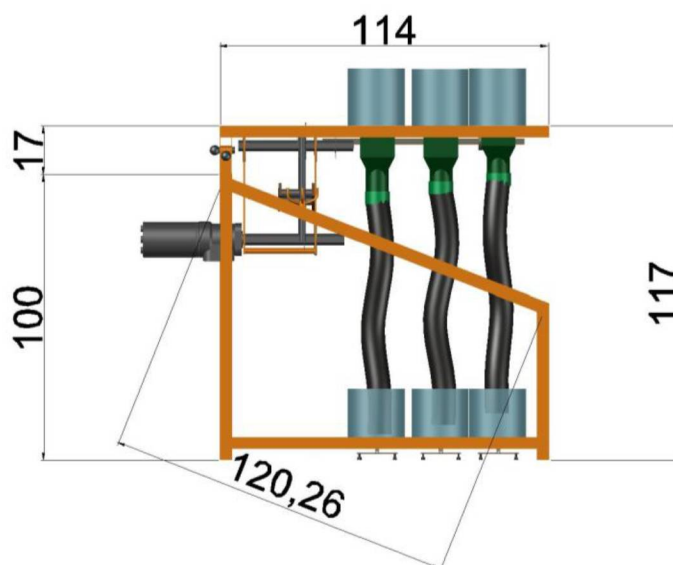
Sua estrutura metálica foi construída com barra de ferro, com perfil em V, de 40 x 40 mm e espessura de 1,5 mm com finalidade de sustentar os três mecanismos distribuidores de fertilizantes sólidos, com acionamento elétrico onde cada dosador possuía uma mangueira sanfonada (FIGURA 2) para direcionar o fertilizante uniformemente até o recipiente coletor para pesagem automática do (SAD).

Para a união da estrutura foi utilizada soldagem com eletrodo revestido da marca ESAB, especificação 6013 de revestimento rutílico e diâmetro 2,5 mm; e o acabamento das uniões, foi feito com um disco do tipo flap de 4 ½ polegadas, em uma esmerilhadora angular de 720 W de potência e rotação de 11000 rpm.

No sistema de regulação da inclinação longitudinal e transversal da bancada foi utilizado duas barras roscadas com porcas borboletas que permitem a regulação longitudinal e transversal em até 30° positivos ou negativos para ambos os sentidos. Estas barras foram fixadas em ambos os lados da mesa de inclinação, próximos ao motorreductor (FIGURA 4).

Na parte superior foi soldada uma chapa de 1 milímetro com dimensões de 80 x 49 cm para fixar os dosadores. Depois da estrutura pronta foi utilizada primer universal da cor cinza para preparar a superfície e, posteriormente, foi aplicado esmalte sintético de cor laranja boreal.

FIGURA 5 – VISTA LATERAL DA BANCADA ESTÁTICA COM COTAS (MM).



FONTE: O autor (2019).

O funcionamento da bancada foi dado por um motorreductor elétrico trifásico, da marca Sew-eurodrive® (220 e 380 V) de 0,33 cv, 4 polos, com rotação nominal de 1680 rpm e redução de 13:1 com engrenagens helicoidais retificadas, disposição dos eixos paralelos e torque de 18,5 a 1110 N.m (FIGURA 2). Para transferir o movimento, utilizou-se eixo sextavado (FIGURA 2) acoplado ao motorreductor, e no outro extremo uma polia dentada com correntes e relação de 1:1, sendo a rotação posteriormente aferida com tacômetro digital de contato, da marca Skill-Tec® e modelo SKTD-01.

Para simular a velocidade de trabalho foi utilizado um inversor de frequência CFW 300 Micro Drive da marca WEG®, com alimentação elétrica Monofásico 220 V e saída trifásica para motor de 1 cv. Este equipamento foi parametrizado para operar na frequência de 1 a 60 hertz sendo acionado por um potenciômetro linear de 5 k $\Omega$ , possibilitando assim variar a velocidade de trabalho dos três dosadores em conjunto (TABELA 1) (GRÁFICO 1).

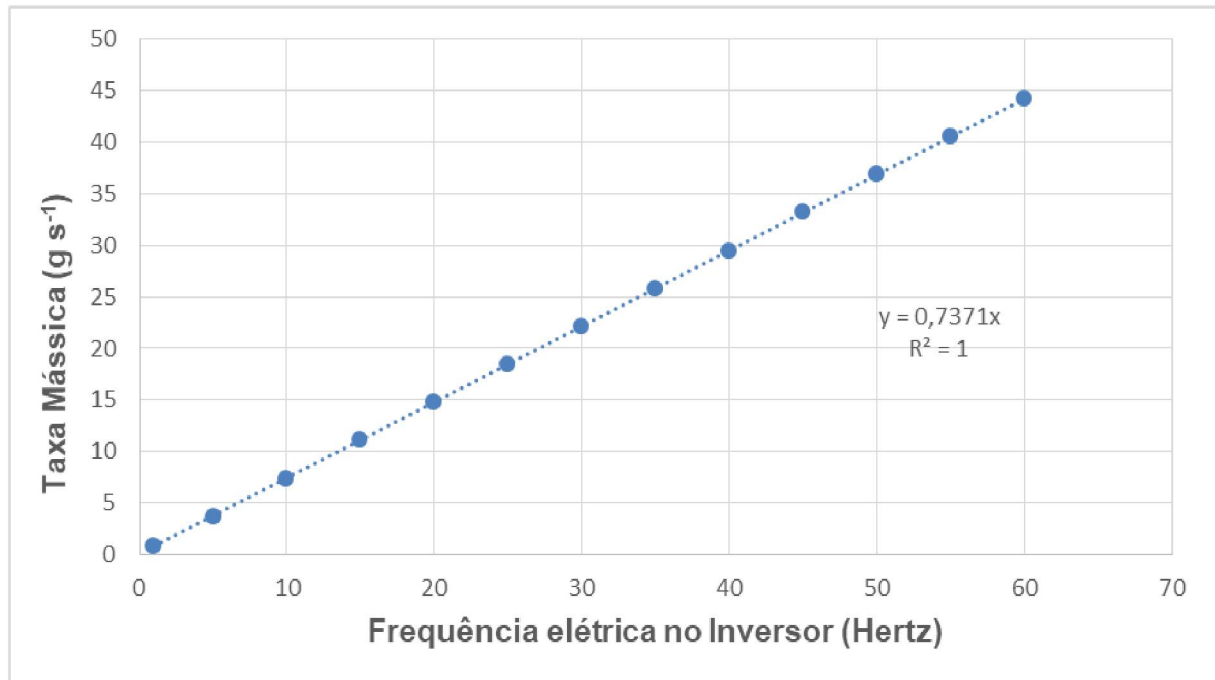
TABELA 1 - DETERMINAÇÃO DOS HERTZ PARA SIMULAR AS VELOCIDADES.

Km/h	m/s	gramas/s	gramas/min	Hertz
4,0	1,11	15,00	900	20,35
7,0	1,94	26,25	1575	35,61
10,0	2,77	37,50	2250	50,88

FONTE: O autor (2019).



GRÁFICO 1 - CURVA DE CALIBRAÇÃO DE HERTZ EM FUNÇÃO DA TAXA MÁSSICA.



FONTE: O autor (2019).

As velocidades de trabalho foram determinadas de acordo com a necessidade de distribuição de fertilizante de  $300 \text{ kg.ha}^{-1}$ , sendo considerado um espaçamento de 45 centímetros em uma área de  $10.000 \text{ m}^2$ , portanto, a quantidade de adubo por metro (QAM) foi de  $13,5 \text{ g.m}^{-1}$ .

### 2.2.1 Modelos dos mecanismos dosadores usados

- Fertisystem

Este dosador helicoidal por transbordo foi desenvolvido pela empresa Agromac®, trabalhando apenas com um helicoidal, neste trabalho foi empregado com passo de 1" - 25,4 mm (FIGURA 6) conforme a recomendação proposta pelo fabricante de acordo a quantidade desejada a ser distribuída.

FIGURA 6 - MECANISMO DOSADOR FERTISYSTEM.

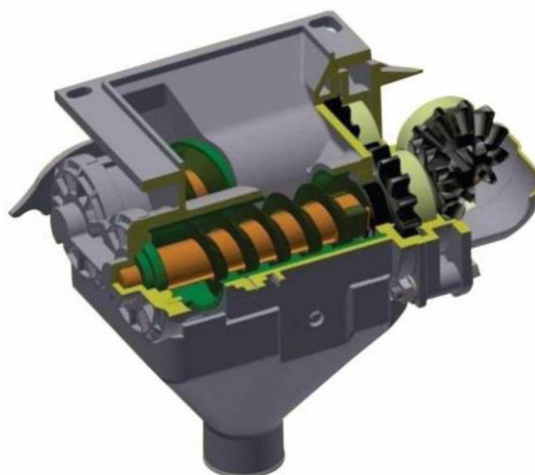


FONTE: AGROMAC (2019).

- Toplanting

O dosador helicoidal por transbordo foi desenvolvido pela empresa Toplanting®, trabalhando com dois helicoides, que giram em sentidos opostos, neste estudo foi utilizado 1/2" - 12,7 mm (FIGURA 7), escolha realizada conforme a recomendação proposta pelo fabricante de acordo a quantidade desejada a ser distribuída.

FIGURA 7 - MECANISMO DOSADOR TOPLANTING.

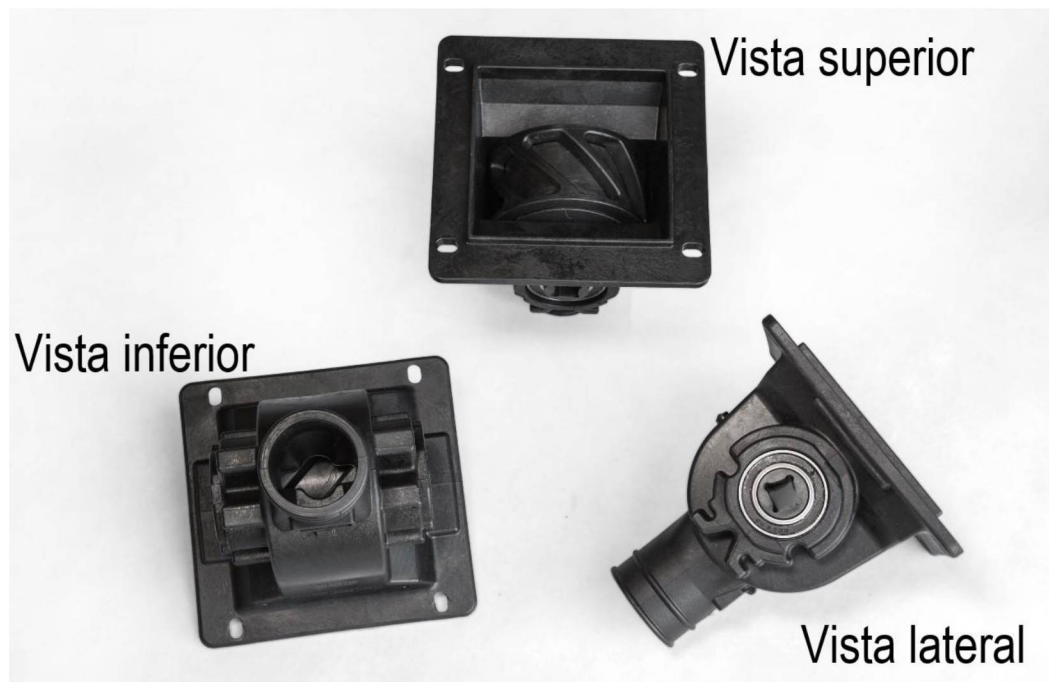


FONTE: Toplanting (2019).

- Fertidoser

O dosador acanalado foi desenvolvido pela empresa CBK Keeps Moving®, trabalhando com rotor disposto verticalmente. Este rotor possui ranhuras (canais), dispostas diagonalmente, para conduzir o fertilizante do reservatório da semeadora para o condutor (12,7 mm) (FIGURA 8).

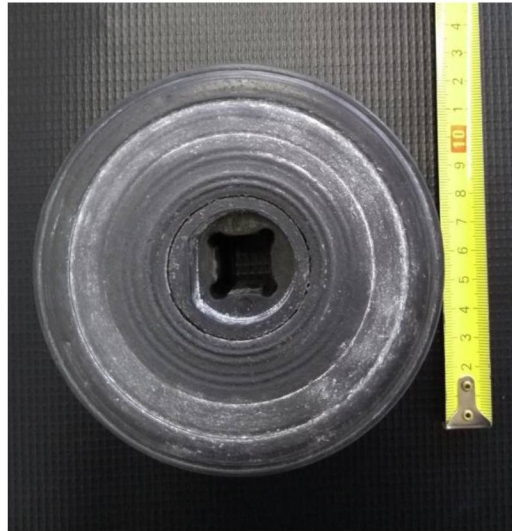
FIGURA 8 - MECANISMO DOSADOR FERTIDOSER.



FONTE: Adaptado de LS PLANTER (2019).

Por esse mecanismo não funcionar com “rosca sem fim”, seu funcionamento é dado através de uma peça circular interna de plástico (FIGURA 9) com diâmetro 108,4 mm que gira no sentido vertical e possui 8 ranhuras (FIGURA 10) sendo que cada ranhura possui volume de 6,90 cm<sup>3</sup>.

FIGURA 9 - VISTA LATERAL DA PEÇA INTERNA DO FERTIDOSER



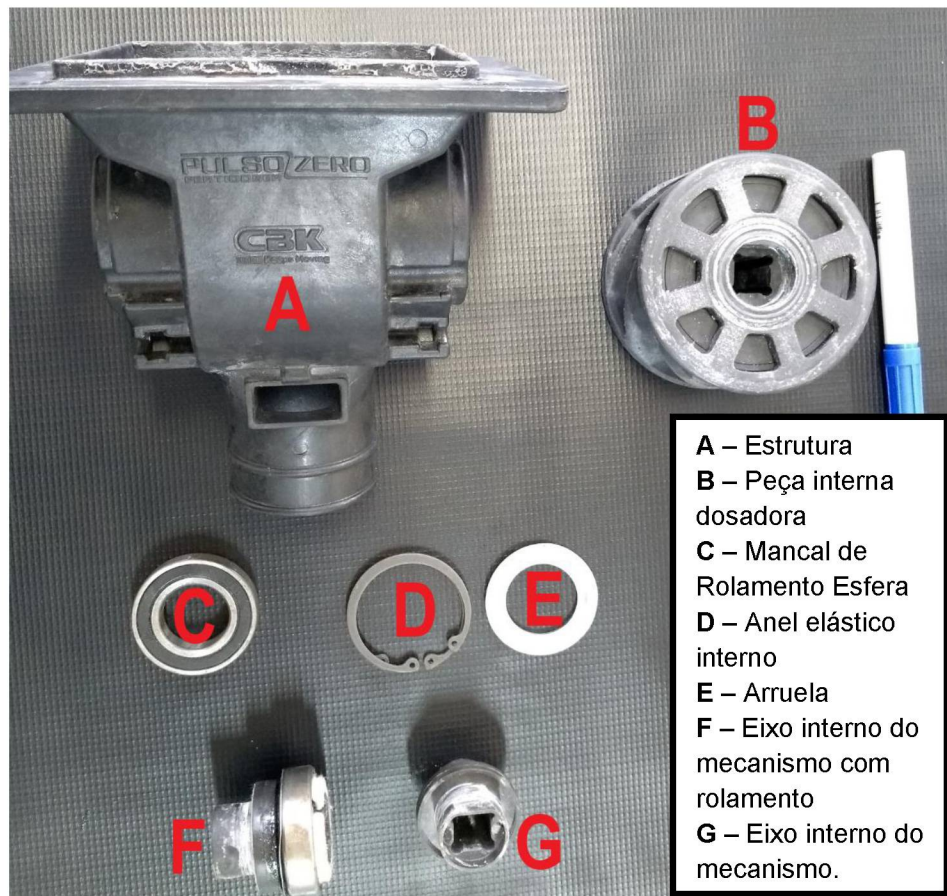
FONTE: O autor (2019).

FIGURA 10 - VISTA SUPERIOR DAS RANHURAS INTERNAS.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 11 – MECANISMO FERTIDOSER COMPLETAMENTE DESMONTADO.



FONTE: O autor (2019).

### 2.2.2 Ângulo de inclinação dos mecanismos

Para que os mecanismos dosadores ficassem totalmente planos, durante o ensaio foi fixado o inclinômetro digital na mesa principal da bancada, marca Protractor (FIGURA 12), com base magnética.

FIGURA 12 - INCLINÔMETRO DIGITAL.



FONTE: O autor (2019).



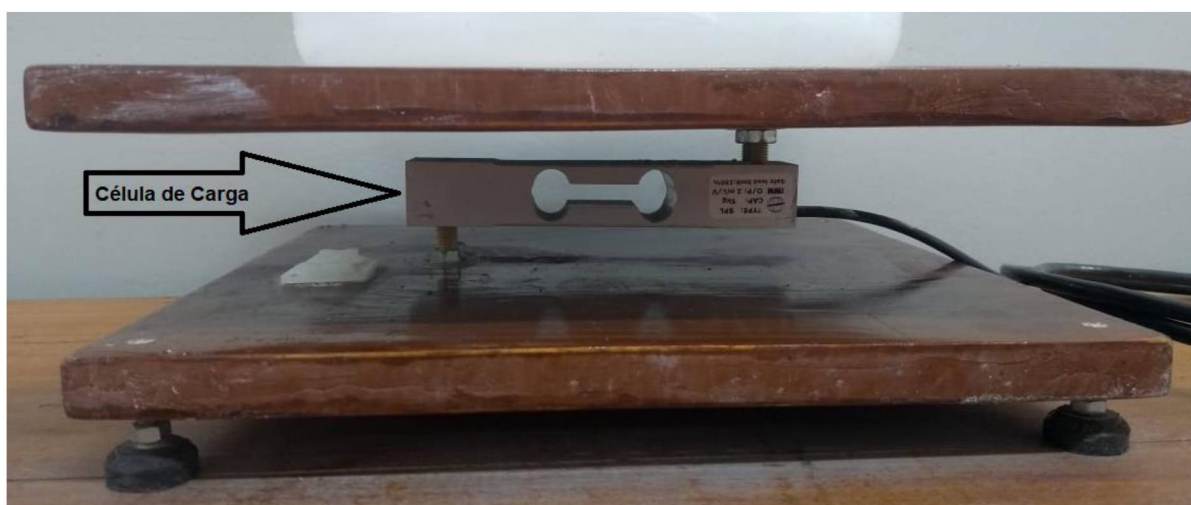
### 2.2.3 Coleta de dados

Em avaliações de regularidade na distribuição de fertilizantes desenvolvida por outros autores como Cardina et al. (2011), Bellé et al. (2011) e Bonotto (2012) foram avaliados no mínimo 30 segundos de vazão, porém no presente trabalho foram coletados 120 segundos, logo os 30 primeiros segundos iniciais foram desprezados juntamente com os 30 segundos finais, portanto, separou-se 60 segundos de dados após o início da aquisição de dados.

Para mensuração do fertilizante depositado pelo mecanismo dosador foram construídas três balanças, na qual se usou duas tábuas de madeira no tamanho de 250 x 250 mm, com espessura de 10 mm, para permitir pressão na deposição do fertilizante. Entre elas foi instalada uma célula de carga de alumínio anodizado da marca IWM do tipo SPL (Single Point) com capacidade máxima de 5 quilogramas, sensibilidade de 2 mV/V e plataforma de 130 x 25 mm e sobre essa balança foi colocado um recipiente coletor de plástico de massa conhecida (FIGURA 13).

Para a quantificação da taxa mássica de fertilizante depositada em tempo real foi desenvolvido um sistema próprio de aquisição de dados, projetado no LATA (UFPR) em fresadora LPKF Protomat 93s, alocando um microcomputador modelo aTmega 2560, marca Atmel, com 16 MHZ de clock, conversor analógico digital de 10 bits e alimentação de 12V sendo a frequência de aquisição de dados de 1 hertz. A linguagem de programação da placa foi desenvolvida em linguagem C.

FIGURA 13 – BALANÇA - CÉLULA DE CARGA ENTRE AS TÁBUAS DE MADEIRA.



FONTE: O autor (2019).

#### 2.2.4 Taxa mássica de fertilizante

Com a ascensão da agricultura de precisão, a taxa variável é utilizada para a aplicação de fertilizante no solo em diferentes quantidades conforme a variabilidade da lavoura, portanto, o termo taxa mássica refere-se ao volume do produto ou peso por unidade de área, por exemplo, gramas por segundo ( $\text{g s}^{-1}$ ).

Para a mensuração da taxa mássica dos fertilizantes foi necessário primeiramente calibrar as balanças para conhecer o seu funcionamento quanto à massa a ser depositada.

Portanto, foram determinados 12 pontos de coleta (TABELA 2) com uma quantidade de fertilizante conhecida utilizando uma balança digital BK 5002 Gehaka.

Inicialmente pesava-se o fertilizante em balança analítica para quantificação mássica. Posteriormente, o mesmo era transferido para o recipiente alocado na balança desenvolvida para bancada, e em seguida foi realizou-se a leitura de pulsos no sistema de aquisição de dados.

**TABELA 2 - MÉDIA DE PULSOS COLETADOS PARA CADA PESO CONHECIDO APLICADO À BALANÇA.**

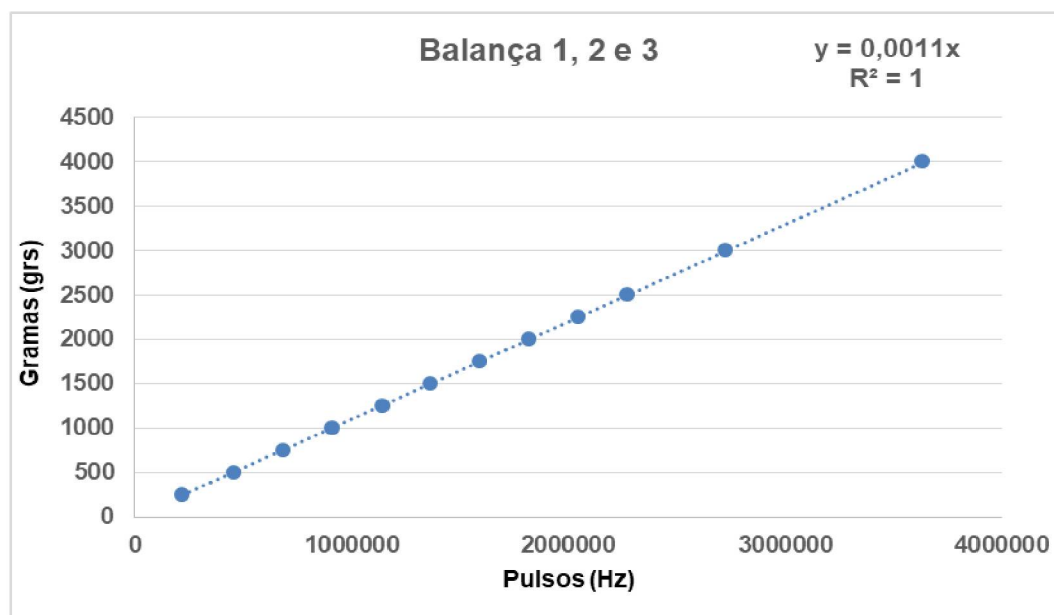
Pontos	Peso (grs)	Balança 1	Balança 2	Balança 3
1	250	219794	227764	226327
2	500	457268	454203	451913
3	750	682887	681186	677691
4	1000	910522	910071	904100
5	1250	1144575	1133191	1130781
6	1500	1365358	1361686	1356115
7	1750	1593597	1590213	1584684
8	2000	1820263	1816415	1806949
9	2250	2047012	2044185	2035196
10	2500	2271466	2271362	2259779
11	3000	2724913	2725195	2713208
12	4000	3631706	3624674	3615781

FONTE: O autor (2019).

Após 10 segundos de ser iniciada foi contabilizado 60 segundos de coleta, para que assim os pulsos não sofressem nenhuma variação, totalizando, 70 segundos de coleta. Os dados foram salvos em planilha eletrônica (EXCEL). Assim foi feita uma média dos pulsos para cada balança e, posteriormente, calculou-se uma curva de calibração (GRÁFICO 2).

Com a equação encontrada foi identificada a precisão da balança da bancada em 0,0011 gramas por pulso, ou seja, é possível contabilizar um único grânulo de fertilizante depositado sobre a balança em tempo real.

GRÁFICO 2 - CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA BALANÇA 1, 2 e 3.



FONTE: O autor (2019).

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS FERTILIZANTES

Para que o trabalho pudesse ser realizado, foi necessária a utilização de fertilizante mineral misto composto por nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) a fim de aumentar a representatividade de uma real operação realizada a campo.

Os fertilizantes foram selecionados de acordo com os mais vendidos na região e com base na concentração de fósforo (P) que continham em sua formulação, pois segundo Silva (1997) uma fonte mineral que possui maior densidade, tende influenciar diretamente na fluidez, em vista que é um dos principais tipos de movimentos de partículas promovendo a segregação. Silveira (1989) também observou que as partículas mais finas e densas se depositam no fundo do reservatório e tendem a ser distribuídos primeiro, afetando nas distribuições.

Como reservatório de fertilizantes, foram utilizados recipientes plásticos transparentes graduados, de oito litros, com dimensões 23 cm de altura, 26 cm na superior e 19,5 cm de diâmetro na parte inferior, e ambos foram mantidos sempre cheios, sempre deixando o nível acima da metade de sua capacidade total.



Segundo Carneiro (2015) as duas qualidades mais pertinentes dos fertilizantes é a capacidade de neutralização por meio do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) e granulometria, porém nesse trabalho o foco principal são as propriedades físicas.

As características físicas como granulometria dos grânulos, teor de água dos fertilizantes, densidade e ângulo de repouso serão apresentadas abaixo, pois é de extrema importância a caracterização do material utilizado.

Os fertilizantes utilizados foram fornecidos pela empresa NPKS Indústria e Comércio de Fertilizantes LTDA e seguem discriminados abaixo (QUADRO 1 e 2) de acordo com a ficha técnica que é disponibilizado pela empresa ao cliente:

QUADRO 1 - FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE 04-30-10.

% N Total	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> cna+água	% K <sub>2</sub> O Sol em água	% Ca Cálcio	% Mg Magnésio	S Enxofre	Registro do produto
04	30	10	6,0	00	00	PR 94995 10115 7
FERTILIZANTE MINERAL MISTO					PESO LÍQUIDO 1000 kg	
Fabricado em: 23/11/2018					Prazo de Validade: Out/2019	

FONTE: NPKS Fertilizantes (2018).

QUADRO 2 - FORMULAÇÃO DO FERTILIZANTE 04-14-08.

% N Total	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Cna+água	% K <sub>2</sub> O Sol em água	% Ca Cálcio	% Mg Magnésio	S Enxofre	Registro do produto
04	14	08	6,0	00	00	PR 94995 10003 7
FERTILIZANTE MINERAL MISTO					PESO LÍQUIDO 1000 kg	
Fabricado em: 23/11/2018					Prazo de Validade: Out/2019	

FONTE: NPKS Fertilizantes (2018).

A umidade relativa do ar ficou entre 51% e 62%, e a temperatura do ar entre 22 e 28°C, dados retirados do INMET (2019) dos dias de coleta dos dados e tal informação é importante, pois o fertilizante é higroscópico e se apresentasse uma elevada umidade, possivelmente, as propriedades físicas e o ângulo de repouso seriam afetados.

### 2.3.1 Granulometria dos grânulos

A granulometria foi determinada de acordo com o Manual de Métodos Analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos do MAPA (2014) que segundo o capítulo XVIII, Art. 60 é necessário que se retire uma amostra do fertilizante com quantidade aproximada de 250 gramas (FIGURA 17), depois dividir esta quantidade por quarteação, em duas frações iguais, sendo uma parte para análise granulométrica e a outra para química.

Foram utilizadas peneiras com malhas 4 mm (ABNT n° 5), 2 mm (ABNT n° 10), 1 mm (ABNT n° 18) e 0,5 mm (ABNT n° 35) e o fundo metálico para reter o material da peneira de menor abertura de malha.

Após pesada a amostra de fertilizante colocou-as sobre as peneiras que foram encaixadas umas sobre as outras, em ordem decrescente de abertura de malha, ficando a malha maior em cima e após a movimentação, tudo que ficou retido em cada peneira foi pesado e os valores encontrados foram convertidos em porcentagens (QUADRO 3) para que fosse possível comparar as peneiras e as diferentes formulações de fertilizante.

QUADRO 3 – GRANULOMETRIA DOS FERTILIZANTES.

Granulometria (mm)	Formulações			
	04-14-08		04-30-10	
	Passante (%)	Retido (%)	Passante (%)	Retido (%)
4,0	97	3	95	5
2,0	23	74	5	90
1,0	1	22	0	5
0,5	0	1	0	0

FONTE: O autor (2019).

### 2.3.2 Teor de água nos fertilizantes

O teor de água refere-se à capacidade que o fertilizante possui em absorver água da atmosfera (higroscopicidade), influenciando diretamente na sua qualidade. Os cálculos do teor de água foram baseados conforme Alcarde et al. (1992), retirando-se quatro amostras de cada fertilizante, conforme a metodologia proposta pelo MAPA, sendo as mesmas colocadas em bandejas identificadas de alumínio

(120 mm x 160 mm) com capacidade de 500 ml e mediu-se a massa úmida das amostras em balanças analíticas logo pesadas e, para a obtenção da massa seca de fertilizante, foram colocadas em estufa da marca Gigante, modelo GD 110 a uma temperatura de 105°C por um período de 24 h.

O teor de água dos fertilizantes foi determinado conforme a equação abaixo.

$$T = \left[ \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \right] \times 100$$

Em que:

$T$  = teor de água no fertilizante (%);

$m_u$  = peso da massa úmida do fertilizante (g);

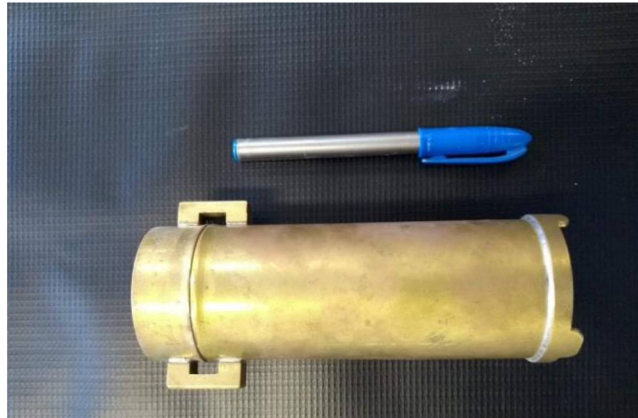
$m_s$  = peso da massa seca do fertilizante (g);

### 2.3.3 Densidade

É importante calcular a densidade em fertilizantes para que possa determinar a vazão dos dosadores, dimensionar os reservatórios, o espaço de armazenamento e a embalagem dos produtos.

Foram realizadas a obtenção dos dados de densidade em quatro repetições de cada fertilizante, sendo separada no LATA – UFPR, onde foram realizadas as análises de peso, com o kit para medição da densidade de grânulos ou peso hectolitro (aparelho Dalle Molle), que é composto por um copo de medida, um tubo receptor, uma régua niveladora (navalha) e um êmbolo.

FIGURA 14 – COPO DE MEDIDA.



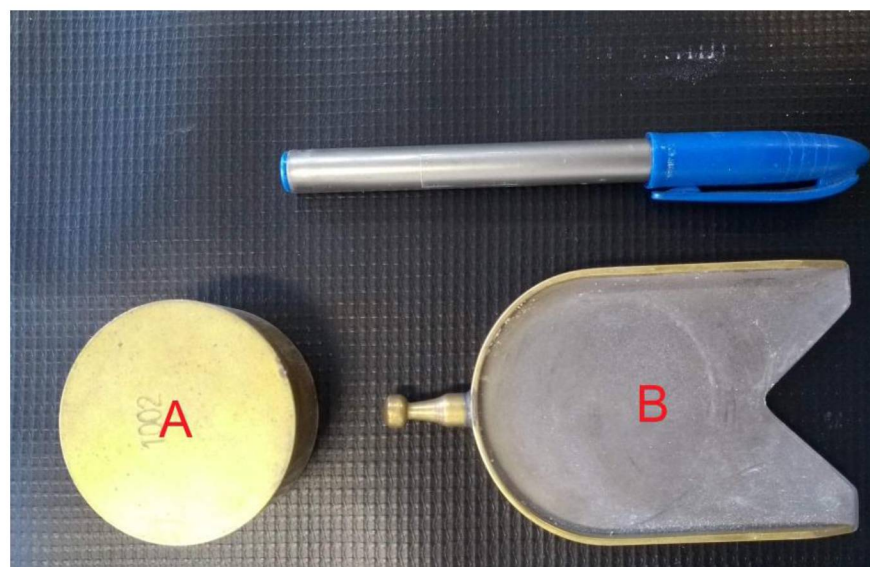
FONTE: O autor (2019).

FIGURA 15 - TUBO RECEPTOR.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 16 – ÊMBOLO (A) E RÉGUA NIVELADORA OU NAVALHA (B).



FONTE: O autor (2019).

A régua niveladora foi inserida no tubo de medida e sobre a mesma colocou-se o êmbolo que é responsável pela queda dos grânulos no tubo de medida e, por último, foi colocado o tubo receptor da amostra, que é encaixado sobre o êmbolo, o qual recebe a amostra.

Após montado o equipamento, foi colocado à amostra de fertilizante no copo receptor e em seguida foi retirada a navalha, logo o êmbolo desceu permitindo que a amostra descesse em velocidade constante para o copo de medida e, logo, a régua niveladora foi inserida novamente para que pudesse ter a segregação da amostra.

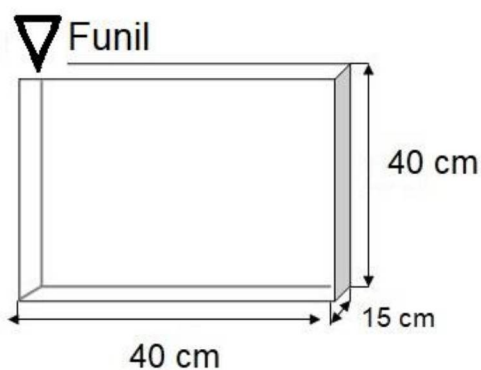
Com a amostra separada no tubo de medida, a mesma foi colocada sob um recipiente metálico que estava sobre uma balança digital analítica BK 5002 Gehaka.

#### 2.3.4 Ângulo de Repouso

O ângulo de repouso em fertilizantes sólidos granulados possibilita analisar a fluidez ou escoabilidade, sendo assim sabe-se como é seu comportamento dentro do reservatório da semeadora-adubadora.

Conforme método realizado por Reynaldo (2013) foi construída uma estrutura de vidro, na forma de um retângulo (semelhante a “aquário”), com dimensões 40 x 40 x 15 cm e na extremidade superior foi colocado um funil no canto esquerdo, por onde foi colocado 2 Kg de fertilizante em velocidade constante até formar acúmulo suficiente capaz de definir o ângulo de repouso (FIGURA 17 e 18).

FIGURA 17 – PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DA CAIXA DE VIDRO.



Fonte: O autor (2019).

FIGURA 18 - CAIXA DE VIDRO PARA MENSURAÇÃO DO ÂNGULO DE REPOUSO.



FONTE: O autor (2019).

Após ter depositado o adubo dentro da estrutura o ângulo de repouso foi determinado com base nas equações trigonométricas e para facilitar na observação dos valores, foram fixadas fitas métricas no eixo x (base inferior) e y (lateral esquerda) para que pudesse obter os valores dos catetos oposto e adjacentes.

O ângulo de repouso foi calculado utilizando a equação abaixo, sendo determinado pela média de quatro repetições por formulação de fertilizante com o intuito de diminuir a margem de erro.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C_o}{C_a}$$

Em que:

$\operatorname{tg} \alpha$  = ângulo de repouso (°)

$C_o$  = cateto oposto (cm)

$C_a$  = cateto adjacente (cm)



### 2.3.5 Estatística experimental

#### PARÂMETROS DOS FERTILIZANTES GRANULADOS

O delineamento estatístico para avaliar o teor de água e densidade dos fertilizantes granulados foi inteiramente casualizado, fatorial simples, a granulometria, também, foi analisada por este delineamento, porém, fatorial duplo (2x5), o primeiro fator sendo o fertilizante e segundo a granulometria da peneira, todos conduzidos quatro repetições.

A normalidade dos parâmetros dos fertilizantes foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Em seguida os dados dos parâmetros foram submetidos análise de variância (ANOVA), quando significativos, submetida ao teste média “t” de Student (valor-p < 0,05).

#### TAXA MÁSSICA

O sistema de aquisição de dados coletou durante o período 120 segundos (desprezando os 30 segundos iniciais e mais os 30 segundos finais, resultando num tempo efetivo de coleta de 60 segundos) de taxa mássica, para cada um dos três dosadores (Fertisystem, Toplanting e Fertidoser), em cada uma das três velocidades (4,0 km h<sup>-1</sup>; 7,0 km h<sup>-1</sup>; 10,0 km h<sup>-1</sup>), com sete repetições, para cada fertilizante granulado. Como a frequência de aquisição de dados foi um hertz resultou num total de 3.780 valores coletados de taxa mássica (g s<sup>-1</sup>), por fertilizante granulado.

Os dados de taxa mássica coletados por dosador e velocidade foram submetidos à análise descritiva, composta dos cálculos de medidas de tendência central (média aritmética, mediana e moda), de dispersão (amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação), de assimetria e de curtose. Os valores de referência adotados para o coeficiente de assimetria foram: Cs<0, distribuição assimétrica à esquerda; Cs>0, distribuição assimétrica à direita e Cs=0 distribuição simétrica. Para coeficiente de curtose foram: Ck>0, distribuição mais afilada que a normal (leptocúrtica); Ck<0, distribuição mais achatada que a normal (platicúrtica) e Ck=0 distribuição normal (mesocúrtica). Efetuou-se, também, o teste de Jarque-Bera para caracterizar a normalidade dos dados (TORMAN et al., 2012).

Posteriormente os dados de taxa mássica foram submetidos ao controle estatístico de processo (CEP) aplicado nas variáveis dosador e velocidade, relatadas por cartas de controle. O modelo de carta de controle selecionado para análise do estudo foi “Subgrupo Xbar”, que gera uma carta de controle para as médias dos subgrupos (dosador para cada velocidade), de modo que seja possível examinar o nível e a variação da média a partir dos limites inferior (LIC) e superior (LSC) de controle. Quando é observado mais de um ponto extremo a esses dois limites, classificam-se os processos como instáveis, ou sem controle (NORONHA et al., 2011).

Portanto, cada subgrupo nas cartas de controle representa a média das sete repetições (amostras no CEP) para cada segundo coletando ao longo do período (60 segundos). Os limites de controle foram estabelecidos considerando-se a variação dos dados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), tendo sido calculados com base no desvio-padrão das variáveis, como demonstrado nas equações.

$$LCS = \bar{x} + 3\sigma$$

$$LCI = \bar{x} - 3\sigma$$

Em que:

LCS: Limite superior de controle;

$\bar{X}$ : Média geral da variável;

$\sigma$ : Desvio-padrão;

LCI: Limite inferior de controle.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FERTILIZANTES

Nas TABELAS 3, 4 e 5 são apresentados os resultados encontrados da caracterização dos fertilizantes granulados utilizados no experimento.

As densidades dos fertilizantes granulados diferiram estatisticamente, de 0,97 e 0,95 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente, para 04-14-08 e 04-30-10. Reynaldo (2013) relatou a densidade de 0,90 g cm<sup>-3</sup> para o fertilizante granulado 04-14-08 e de 0,95 g cm<sup>-3</sup> para o 04-30-10, ambas as densidades diferiram estatisticamente, corroborando com a pesquisa conduzida. Ferreira et al. (2010) determinou a densidade do fertilizante granulado 05-20-20 em 1,0 g cm<sup>-3</sup>.

O ângulo de repouso foi de 32,55° (04-14-08) e 33,69° (04-30-10), não diferindo estatisticamente. Para Cardoso et al. (2011) o ângulo de repouso encontrado foi de 30,4°, Carneiro (2015), obteve o valor de 32,2° e Ferreira et al. (2010) 36,09°, valores próximos aos determinados nesta pesquisa.

Na classificação de escoabilidade de Woodcock e Mason (1987) os fertilizantes granulados avaliados possuem escoamento livre (ângulo de repouso entre 30 a 38°), sendo indicados para dutos que trabalham por gravidade, como os encontrados nas semeadoras-adubadoras comercializadas no Brasil.

Em pesquisa desenvolvida por Campos (2012) os resultados indicaram que quanto maior o ângulo de repouso de um material granulado, menor é a fluidez dos grânulos, apontando maior coesão e, conseqüentemente, gerando melhor escoamento.

Não houve diferença significativa entre o teor de água dos fertilizantes granulados avaliados, Ferreira et al (2010), ao analisar este parâmetro do fertilizante granulado 04-14-08 encontrou 0,05 g g<sup>-1</sup>.

TABELA 3 – RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DENSIDADE, ÂNGULO DE REPOUSO E TEOR DE ÁGUA DOS FERTILIZANTES UTILIZADOS.

Fertilizante Granulado (FG)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Ângulo de Repouso (°)	Teor de Água (g g <sup>-1</sup> )
04-14-08	0,97 A	32,55	0,03
04-30-10	0,95 B	33,69	0,03
<b>Teste F</b>			
FG	13,211*	2,98 NS	1,63 NS
<b>Coeficiente de Variação – CV (%)</b>	0,97	2,81	3,99

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo teste “t”, a 5% de probabilidade. NS: Não significativo; \*: Significativo (5%) e \*\*: Significativo (1%). CV %: Coeficiente de variação.

Na TABELA 4 são apresentados os resultados da análise granulométrica dos fertilizantes granulados. Observa-se para o fator fertilizante que as quantidades passantes não diferiram. Para o fator peneira, a malha de 2,0 mm reteve, estatisticamente, a maior quantidade de fertilizante granulados, seguida da malha de 1,00 mm, retiveram mais de 95%, resultados semelhantes ao Bonotto (2012).

TABELA 4 – DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS PARA OS DIFERENTES FERTILIZANTES.

Fertilizante (F)	Passante (%)
04-14-08	19,90
04-30-10	20,00
<b>Peneira (P)</b>	
0,0 mm	0,00 D
0,5 mm	0,25 D
1,0 mm	14,87 B
2,0 mm	81,38 A
4,0 mm	3,50 C
<b>Teste F</b>	
F	0,05 NS
P	4.865,38**
F x P	169,12**
<b>Coeficiente de Variação – CV (%)</b>	7,06

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo teste “t”, a 5% de probabilidade. NS: Não significativo; \*: Significativo (5%) e \*\*: Significativo (1%). CV %: Coeficiente de variação.

Na TABELA 5, são apresentados os dados da interação entre os fertilizantes granulados analisados e sua retenção nas diferentes malhas da peneira. Na malha de 2,0 mm da peneira, retiveram 72,75% (04-14-08) e 90% (04-30-10), resultados dentro dos parâmetros estabelecidos pelo ABNT.

TABELA 5 - RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA AS DIFERENTES PENEIRAS COM OS DOIS FERTILIZANTES.

Peneira (P)	Fertilizante (F)	
	04-14-08 (%)	04-30-10 (%)
0,0 mm	0,00 Ad	0,00 Ac
0,5 mm	0,50 Acd	0,00 Ac
1,0 mm	24,25 Ab	5,50 Bb
2,0 mm	72,75 Ba	90,00 Aa
4,0 mm	2,50 Ac	4,50 Ab

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, diferem pelo teste “t” a 5% de probabilidade.

### 3.2 VELOCIDADE 4,0 KM H<sup>-1</sup>

Na TABELA 6 são apresentados os dados da estatística descritivos da taxa mássica (TM) para os diferentes dosadores e fertilizantes avaliados. Os parâmetros de tendência central (média aritmética, mediana e moda) podem ser analisados com base na assimetria da curva, para o dosador Fertisystem os valores de assimetria foram 0,21 e 0,10 para os fertilizantes granulados 04-14-08 e 04-30-10, respectivamente, indicando que a cauda do lado direito da curva é maior que a esquerda, corroborado pela mediana ser superior à média. Logo a maioria dos valores da TM desde dosador na velocidade de 4,0 km h<sup>-1</sup> foram abaixo da média, para ambos os fertilizantes granulados, no 04-14-08 isto ocorreu de forma moderada (assimetria entre 0,15 a 1,00) e para 04-30-10 de maneira fraca (assimetria entre 0,00 a 0,15), conforme Sicsú e Dana (2013).

Para o Toplanting no fertilizante granulado a assimetria foi positiva fraca (cauda maior à direita na curva), dado corroborado pelos valores da média, mediana e moda da TM. No fertilizante granulado 04-30-10 assimetria foi nula, indicando valores aproximados para média, mediana e moda, conforme observado na TABELA 6.

No caso do distribuidor Fertidoser a assimetria foi -0,06 para ambos fertilizantes granulados, indicando a cauda da curva levemente maior para esquerda. Este valor de assimetria relata que os valores de TM da moda são menores que a mediana e a mediana por sua vez menor que a média (TABELA 6).

TABELA 6 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TAXA MÁSSICA (TM) PARA OS DOSADORES E FERTILIZANTES AVALIADOS NA VELOCIDADE 4,0 KM H-1.

Parâmetros	Fertisystem		Toplanting		Fertidoser	
	04-14-08	04-30-10	04-14-08	04-30-10	04-14-08	04-30-10
Média	16,52	15,70	18,48	15,31	14,03	13,86
Mediana	16,43	15,60	18,42	15,30	14,04	13,85
Moda	17,17	14,63	17,99	15,22	14,50	13,48
Desvio Padrão	0,97	1,05	1,41	1,06	1,01	1,10
Amplitude	5,69	6,43	7,52	6,19	6,46	6,73
CV (%)	5,88	6,67	7,61	6,92	7,18	7,93
Assimetria	0,21	0,10	0,05	0,00	0,06	-0,06
Curtose	-0,27	0,04	-0,10	-0,25	0,19	0,05
JB	4,46 N	664,64 N	0,36 N	1,08 N	0,83 N	0,32 N

CV (%) – Coeficiente de variação; JB - Teste de normalidade de Jarque-Bera (N: Distribuição Normal; A: Distribuição Não Normal a 5%; AA Distribuição Não Normal a 1%).

Os parâmetros de dispersão da estatística descritiva da TM (TABELA 6) são o desvio padrão, a amplitude e o coeficiente de variação. O comportamento destes parâmetros pode ser explicado pelo achatamento da curva (curtose). Para o fertilizante granulado 04-14-08, no dosador Fertisystem, o valor do parâmetro avaliado foi de -0,27, indicando uma curva mais achatada (platicúrtica), menor a concentração dos valores de TM em torno do centro (SILVA et al., 2010). Para o fertilizante 04-30-10 a curtose foi 0,04, ou seja, que a frequência da TM desse adubo é em torno do centro desta distribuição (média). Para o dosador Toplanting, para os dois fertilizantes granulados, a curtose relata que a frequência dos valores da TM se afasta do centro da distribuição, comportamento contrário ao relatado para o dosador Planter, nos dois fertilizantes granulados analisados.

Todos os coeficientes de variação ficaram abaixo de 10%, relatando baixa dispersão de dados (FERREIRA, 1991), consequentemente, alta precisão dos dados coletados, corroborando para baixos valores apresentados na TABELA 6 de desvio padrão, para os distribuidores e fertilizantes granulados na velocidade de 4,0 km h<sup>-1</sup>.

As amplitudes de variação da TM não foram acentuadas, quando comparada aos respectivos valores de média e mediana, nos diferentes dosadores e fertilizantes granulados, ou seja, os dados não se distanciaram das medidas de tendência central, o que reforça as hipóteses de menor dispersão entre os dados (VALE et al., 2009).

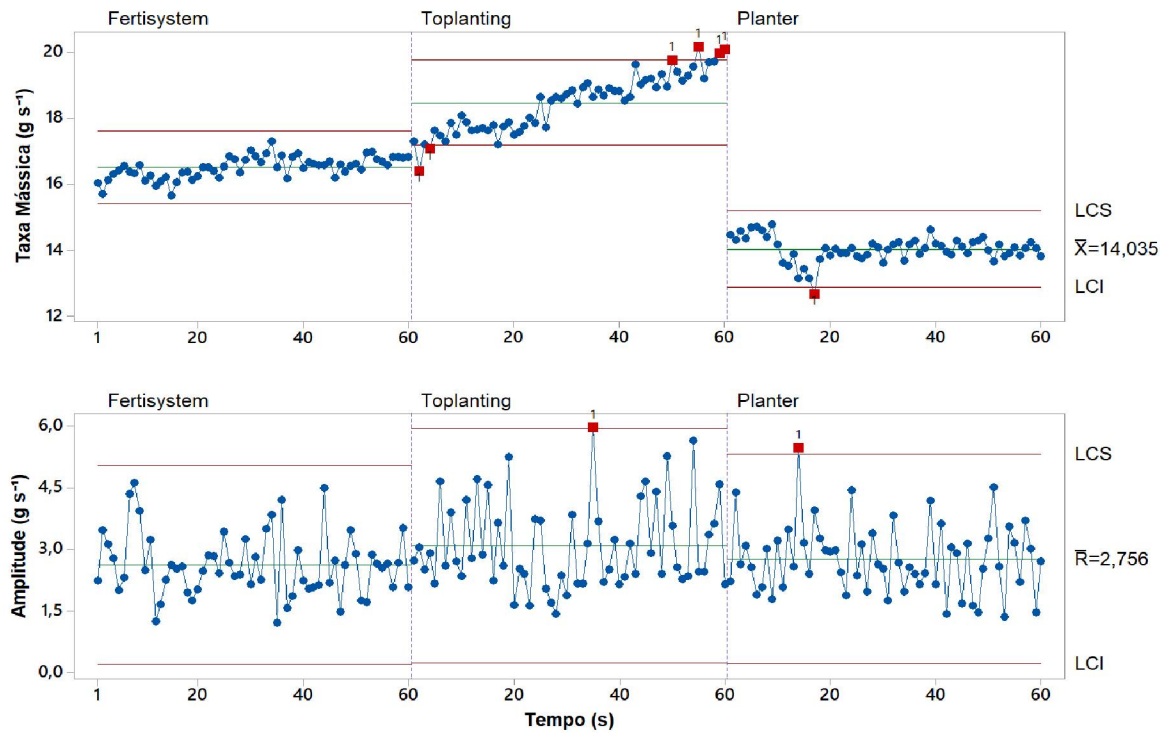
Sobre os fertilizantes granulados, observou-se que as médias da TM foram superiores em todos os dosadores com o 04-14-08 em relação ao 04-30-10, fato que pode ser explicado pela densidade superior conforme demonstrado na TABELA 6 e pela diferença de granulometria TABELA 4. Em relação ao teste de normalidade, como para os dosares avaliados e fertilizantes granulados estudados a distribuição foi normal, ou seja, não necessitou transformar os dados para aplicar no controle estatístico de processo.

Nas FIGURAS 19 e 20, são apresentadas as cartas de controle das médias da TM para os fertilizantes granulados 04-14-08 e 04-30-10, respectivamente. Pode-se observar que a TM, para 04-14-08, não está sobre controle para os dosadores Toplanting e Planter, pois em ambos existem ao menos um ponto que ultrapassam os limites inferior e superior de controle, no caso do fertilizante 04-30-10, a TM está sob controle para os três dosadores. Fato pode ser explicado pela diferença de granulometria entre os fertilizantes apresentada na TABELA 5, pois o 04-30-10 tem a granulometria mais uniforme que 04-14-08.

Na TABELA 6 verificamos que as médias da TM para os dosadores Fertisystem, Toplanting e Planter foram: 16,52; 18,48 e 14,03 g s<sup>-1</sup>, sendo o limite de controle superior à média mais três vezes o desvio padrão, os controle superior foram 19,43; 22,71 e 17,06 g s<sup>-1</sup> e inferior (média menos três vezes o desvio padrão) de 13,60; 14,26 e 11,01 g s<sup>-1</sup> para o fertilizante granulado 04-14-08. Já para o fertilizante granulado 04-30-10 as médias das TM foram: 15,70; 15,31 e 13,86 g s<sup>-1</sup>, os limites de controle superior: 18,85; 18,49 e 17,16 g s<sup>-1</sup> e inferiores: 12,55; 12,13 e 10,56 g s<sup>-1</sup>.

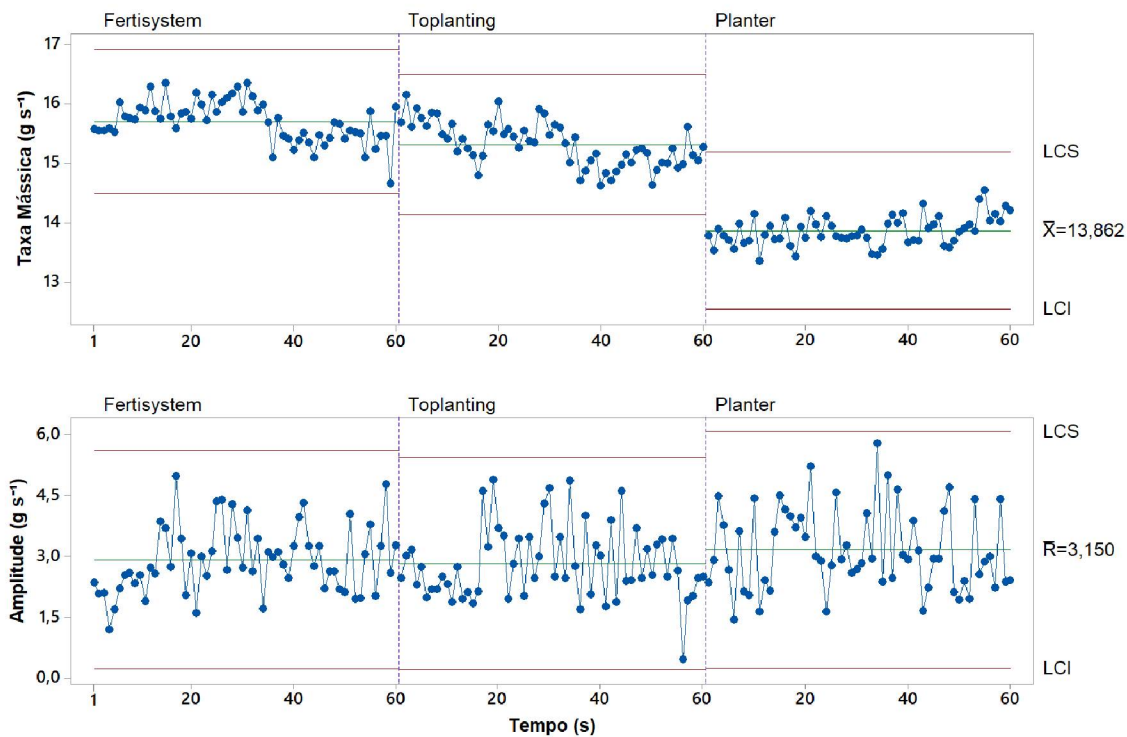
Capelli et al. (2000) verificaram que para dosadores do tipo helicoidais em altas rotações aplicadas ao eixo (velocidade) apresentaram valores anormais de distribuição de fertilizante, corroborando com os dados encontrados. Já Ramos (2012) ao estudar o sistema de distribuição de fertilizante em esteira, concluiu que o mecanismo dosador Fertisystem foi o que apresentou maior regularidade e o menor desvio padrão em três repetições.

FIGURA 19 - VELOCIDADE 4,0 KM H<sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-14-08.



FONTE: Minitab (2017).

FIGURA 20 - VELOCIDADE 4,0 KM H<sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-30-10.



FONTE: Minitab (2017).

### 3.3 VELOCIDADE 7,0 KM H<sup>-1</sup>

Na TABELA 7 são apresentados os dados da estatística descritivos da taxa mássica (TM) para os diferentes dosadores e fertilizantes avaliados. Os parâmetros de tendência central (média aritmética, mediana e moda) podem ser analisados com base na assimetria da curva, para o dosador Fertisystem os valores de assimetria foram 0,13 e 1,41 para os fertilizantes granulados 04-14-08 e 04-30-10, respectivamente, indicando que a cauda do lado direito da curva é maior que a esquerda, corroborado pela mediana ser superior à média. Logo a maioria dos valores da TM desse dosador na velocidade de 4,0 km h<sup>-1</sup> foi abaixo da média, para ambos os fertilizantes granulados, no 04-14-08 isto ocorreu de forma moderada (assimetria entre -0,10 a 0,23) e para 04-30-10 de maneira moderada (assimetria entre -0,10 a 1,15), conforme Ferreira (1991).

Para o Toplanting no fertilizante granulado a assimetria foi positiva fraca (cauda maior à direita na curva), dado corroborado pelos valores da média, mediana e moda da TM (CHICOTA & LIER, 2004). No fertilizante granulado 04-30-10 assimetria foi negativa, indicando valores aproximados para média, mediana e moda, conforme observado na TABELA 7.

No caso do distribuidor Fertidoser a assimetria foi 0,23 no 04-14-08 e para o 04-30-10 foi de 0,40, indicando a cauda da curva levemente maior para esquerda. Este valor de assimetria relata que os valores de TM da moda são menores que a mediana e a mediana por sua vez menor que a média (TABELA 7).

Reynaldo (2013) avaliando mecanismos dosadores de fertilizantes com diferentes helicoidais concluiu que os maiores erros de dosagem acontecem em ângulos de inclinação positivo (+5 e +15°), porém no presente trabalho o ângulo era zero, portanto, não foi à inclinação que influenciou na má distribuição do fertilizante.

Porém Seki, Benez e Silva (2012) estudando o desempenho operacional de semeadora observaram que a velocidade de 5,38 km h<sup>-1</sup> no deslocamento durante a operação de semeadura de milho foi a que obteve melhor distribuição, assim como Mahl et al. (2004) concluiu que uma boa velocidade de semeadura é de 4,4 e 6,1 km h<sup>-1</sup>, assim sendo, a velocidade de 10,0 km h<sup>-1</sup> não é adequada para semeadura e nem distribuição de fertilizante.

TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TAXA MÁSSICA (TM) PARA OS DOSADORES E FERTILIZANTES AVALIADOS NA VELOCIDADE 7,0 KM H<sup>-1</sup>.

Parâmetros	Fertisystem		Toplanting		Fertidoser	
	04-14-08	04-30-10	04-14-08	04-30-10	04-14-08	04-30-10
Média	29,71	28,08	32,37	26,15	24,60	24,18
Mediana	49,48	27,56	32,45	26,20	24,51	24,08
Moda	30,29	27,96	37,55	24,18	24,13	23,49
Desvio Padrão	1,85	2,05	2,42	1,68	1,43	1,37
Amplitude	10,55	17,09	14,32	10,81	9,79	8,33
CV (%)	6,24	7,30	7,47	6,41	5,80	5,67
Assimetria	0,13	1,41	-0,10	-0,10	0,23	0,40
Curtose	-0,40	5,48	-0,16	-0,30	0,73	0,42
JB	3,97 N	664,64 N	1,11 N	2,31 N	12,90 N	14,46 N

CV (%) – Coeficiente de variação; JB - Teste de normalidade de Jarque-Bera (N: Distribuição Normal; A: Distribuição Não Normal a 5%; AA Distribuição Não Normal a 1%).

Os parâmetros de dispersão da estatística descritiva da TM (TABELA 7) são o desvio padrão, a amplitude e o coeficiente de variação. O comportamento destes parâmetros pode ser explicado pelo achatamento da curva que é determinado pela curtose (ZERBATO et al., 2013). Para o fertilizante granulado 04-14-08, no dosador Fertisystem, o valor do parâmetro avaliado foi de -0,40, indicando uma curva mais achatada (platicúrtica), menor a concentração dos valores de TM em torno do centro (SILVA et al., 2010). Para o fertilizante 04-30-10 a curtose foi 5,48, ou seja, que a frequência da TM desse adubo é em torno do centro desta distribuição (média).

Para o dosador Toplanting, os dois fertilizantes granulados, a curtose relata que a frequência dos valores da TM se afasta do centro da distribuição, comportamento contrário ao relatado para o dosador Fertidoser, para os dois fertilizantes granulados analisados.

Todos os coeficientes de variação ficaram abaixo de 10%, relatando baixa dispersão de dados (SILVA et al., 2011), consequentemente, alta precisão dos dados coletados, corroborando para baixos valores apresentados na TABELA 7 de desvio padrão, para os distribuidores e fertilizantes granulados na velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup>.

As amplitudes de variação da TM não foram acentuadas, quando comparada aos respectivos valores de média e mediana, nos diferentes dosadores e fertilizantes granulados, ou seja, os dados não se distanciaram das medidas de tendência



central, o que reforça as hipóteses de menor dispersão entre os dados (VALE et al., 2009), portanto é possível concluir que quantidade de taxa mássica depositada pelo mecanismo foi precisa.

Sobre os fertilizantes granulados, observou-se que as médias da TM foram superiores em todos os dosadores com o 04-14-08 em relação ao 04-30-10, fato que pode ser explicado pela densidade superior conforme demonstrado na TABELA 7 e pela diferença de granulometria TABELA 4. Em relação ao teste de normalidade, como para os dosares avaliados e fertilizantes granulados estudados a distribuição foi normal, ou seja, não necessitou transformar os dados para aplicar no controle estatístico de processo.

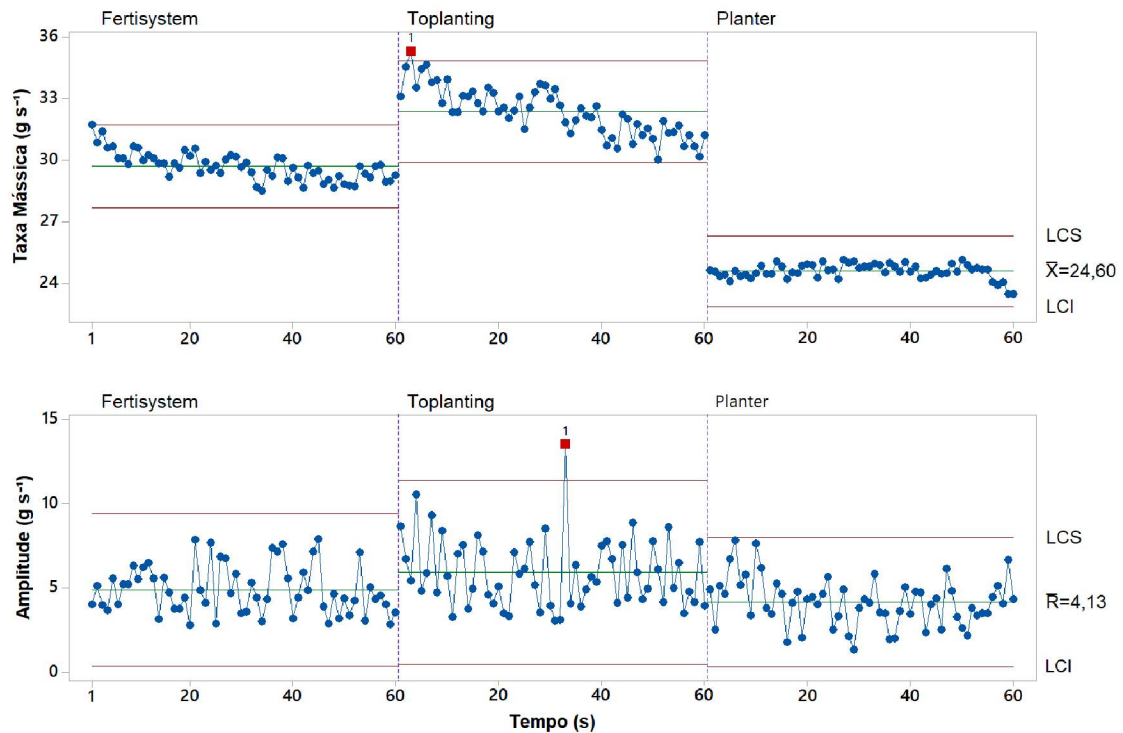
Esse método de análise estatística com base em carta de controle é muito utilizado por gerentes e operadores em fábricas, pois avaliando um único parâmetro, é possível identificar causas especiais na operação (CHAKRABORTI, 2013) e o mesmo pode ser utilizado na agricultura, como no presente trabalho analisando velocidade e tipo de mecanismo dosador é possível definir qual o melhor em determinada situação (SILVA et al., 2016).

Portanto, nas figuras 21 e 22 são apresentadas as cartas de controle das médias da TM para os fertilizantes granulados 04-14-08 e 04-30-10, respectivamente. Pode-se observar que a TM, para 04-14-08, não está sobre controle para o dosador Toplanting, pois existe ao menos um ponto que ultrapassa os limites inferior e superior de controle, no caso do fertilizante 04-30-10, a TM não está sob controle para os dosadores Fertisystem e Toplanting, pois para ambos existe pelo menos um ponto que ultrapassa os limites determinados. Fato pode ser explicado pela diferente de granulometria entre os fertilizantes apresentada na TABELA 5, pois o 04-30-10 tem a granulometria mais uniforme que 04-14-08.

Na TABELA 7 verificamos que as médias da TM para os dosadores Fertisystem, Toplanting e Fertidoser, respectivamente, no fertilizante 04-14-08 foram: 29,71; 32,37 e 24,60 g s<sup>-1</sup>, sendo o limite de controle superior à média mais três vezes o desvio padrão, o controle superior foi 35,26; 39,63 e 28,89 g s<sup>-1</sup>, respectivamente, e o controle inferior (média menos três vezes o desvio padrão) de 24,16; 25,11 e 20,31 g s<sup>-1</sup> para o Fertisystem, Toplanting e Planter.

Para o fertilizante granulado 04-30-10 as médias dos dosadores Fertisystem, Toplanting e Fertidoser das TM foram: 28,08; 26,15 e 24,18 g s<sup>-1</sup>, os limites de controle superior: 34,23; 31,19 e 28,29 g s<sup>-1</sup> e inferiores: 21,93; 21,11 e 20,07 g s<sup>-1</sup>.

FIGURA 21 - VELOCIDADE 7,0 KM H<sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-14-08.

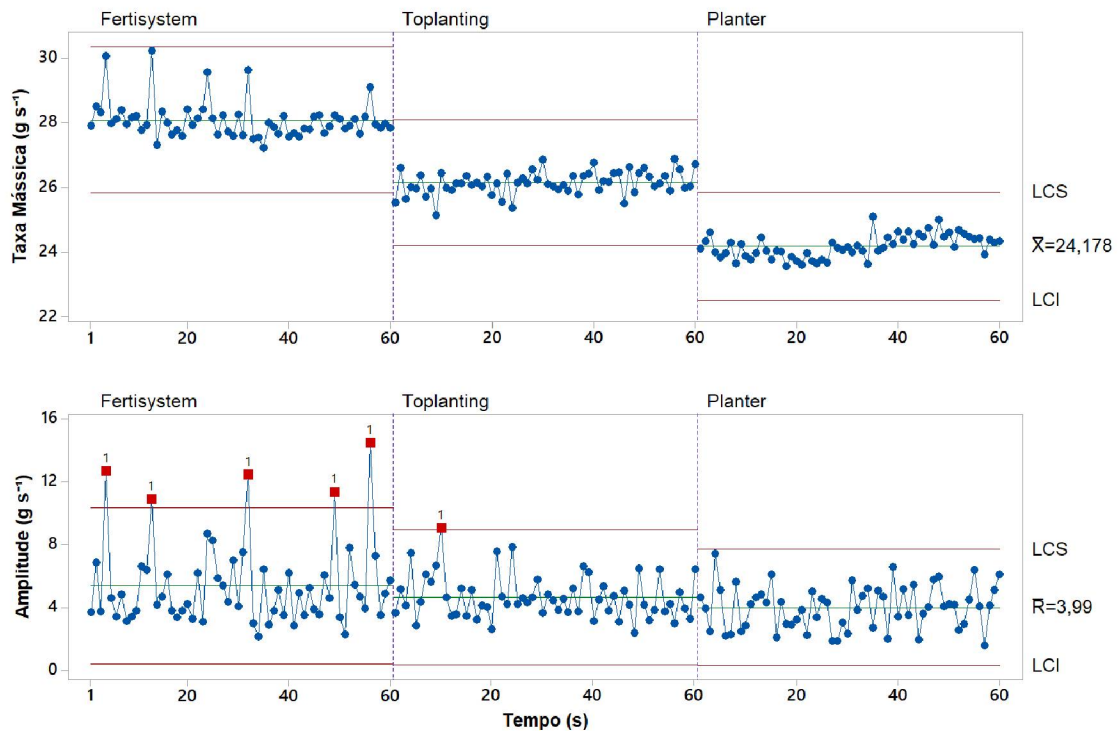


FONTE: Minitab (2017)

Na velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup> o único mecanismo dosador que teve melhor distribuição de fertilizante foi o Fertidoser, em vista que o Fertisystem e Toplanting apresentaram muitos pontos fora dos limites, mostrando que tem algum problema no sistema (FIGURA 21).

O Toplanting foi o mecanismo dosador que mostrou pior distribuição em alta velocidade, ou seja, sua precisão se torna pouco baixa, e isso pode ser explicado por ele possuir duas roscas helicoidais no seu funcionamento e com o giro do eixo mais rápido ambas carregam uma grande quantidade de adubo, sendo mais adequadas para baixas velocidades.

FIGURA 22 - VELOCIDADE 7,0 KM H<sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-30-10.



FONTE: Minitab (2017).

### 3.4 VELOCIDADE 10,0 KM H<sup>-1</sup>

Na TABELA 8 são apresentados os dados da estatística descritivos da taxa mássica (TM) para os diferentes dosadores e fertilizantes avaliados. Os parâmetros de tendência central (média aritmética, mediana e moda) podem ser analisados com base na assimetria da curva, para o dosador Fertisystem os valores de assimetria foram positivos 0,09 e 0,91 para os fertilizantes granulados 04-14-08 e 04-30-10, respectivamente, indicando que a cauda do lado direito da curva é levemente maior que a esquerda, corroborado pela mediana ser inferior à média (BIANCHIN & BELLÉ, 2013).

Logo a maioria dos valores da TM do dosador Fertisystem na velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup> foi abaixo da média, para ambos os fertilizantes granulados, no 04-14-08 isto ocorreu de forma moderada (assimetria entre 0,09 a 0,33) e para 04-30-10 de maneira moderada (assimetria entre -0,25 a 0,91), conforme Souza et al. (2013).

Para o Toplanting no fertilizante granulado 04-14-08 a assimetria foi positiva fraca (cauda maior à direita na curva), para o fertilizante 04-30-10 a assimetria foi

negativa, indicando valores aproximados, dado corroborado pelos valores da média, mediana e moda da TM (CUNHA, JÚNIOR & OLIVEIRA, 2017).

No caso do distribuidor Fertidoser a assimetria foi 0,33 no 04-14-08 e para o 04-30-10 foi de 0,02, indicando a cauda da curva levemente maior para direita. Este valor de assimetria relata que os valores de TM da moda são maiores ou iguais a mediana, e a mediana por sua vez menor que a média (TABELA 8).

Mantovani et al. (2015) avaliando uma semeadora-adubadora de milho em três diferentes velocidades concluiu que a maior velocidade aumentou a porcentagem de duplos e falhos e também observou-se uma variação de distribuição de fertilizante, concluindo que o bom desempenho foi dado nos limites de velocidades de 5,0 a 7,0 km h<sup>-1</sup>.

TABELA 8 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TAXA MÁSSICA (TM) PARA OS DOSADORES E FERTILIZANTES AVALIADOS NA VELOCIDADE 10,0 KM H<sup>-1</sup>.

Parâmetros	Fertisystem		Toplanting		Fertidoser	
	04-14-08	04-30-10	04-14-08	04-30-10	04-14-08	04-30-10
Média	43,99	39,16	47,50	36,71	35,04	32,63
Mediana	43,75	38,58	47,64	36,86	34,85	32,55
Moda	41,58	41,13	48,80	38,78	34,92	31,96
Desvio Padrão	2,80	2,54	3,41	2,45	1,92	1,65
Amplitude	18,28	19,42	19,27	16,50	12,28	10,79
CV (%)	6,36	6,49	7,19	6,68	5,49	5,07
Assimetria	0,09	0,91	0,02	-0,25	0,33	0,02
Curtose	-0,01	2,47	-0,38	0,37	0,40	0,74
JB	0,59 N	164,95 N	2,56 N	6,94 N	10,42 N	9,50 N

CV (%) – Coeficiente de variação; JB - Teste de normalidade de Jarque-Bera (N: Distribuição Normal; A: Distribuição Não Normal a 5%; AA Distribuição Não Normal a 1%).

Os parâmetros de dispersão da estatística descritiva da TM (TABELA 8) são o desvio padrão, a amplitude e o coeficiente de variação. O comportamento destes parâmetros pode ser explicado pelo achatamento da curva que é determinado pela curtose (ZERBATO et al., 2013). Para o fertilizante granulado 04-14-08, no dosador Fertisystem, o valor do parâmetro avaliado foi de -0,01, indicando uma curva levemente achatada (platicúrtica), menor a concentração dos valores de TM em torno do centro (SILVA et al., 2010). Para o fertilizante 04-30-10 a curtose foi 2,47,

ou seja, que a frequência da TM desse adubo é em torno do centro desta distribuição (média).

Para o dosador Toplanting, o fertilizante granulado 04-14-08 apresentou valor negativo, portanto, a curtose relata que a frequência dos valores da TM se afasta do centro da distribuição, já para o 04-30-10 valor positivo comportamento semelhante ao relatado para o dosador Fertidoser, para os dois fertilizantes granulados analisados.

Todos os coeficientes de variação ficaram abaixo de 10%, relatando baixa dispersão de dados (SILVA et al., 2011), consequentemente, alta precisão dos dados coletados, corroborando para baixos valores apresentados na TABELA 8 de desvio padrão, para os distribuidores e fertilizantes granulados na velocidade de 10,0 km h<sup>-1</sup>.

As amplitudes de variação da TM não foram acentuadas, quando comparada aos respectivos valores de média e mediana, nos diferentes dosadores e fertilizantes granulados, ou seja, os dados não se distanciaram das medidas de tendência central, o que reforça as hipóteses de menor dispersão entre os dados (FILHO, A. C. & STORCK, L.; 2007 & VALE et al., 2009).

Sobre os fertilizantes granulados, observou-se que as médias da TM foram superiores em todos os dosadores com o 04-14-08 em relação ao 04-30-10, fato que pode ser explicado pela densidade superior conforme demonstrado na TABELA 7 e pela diferença de granulometria TABELA 4. Em relação ao teste de normalidade, como para os dosares avaliados e fertilizantes granulados estudados a distribuição foi normal, ou seja, não necessitou transformar os dados para aplicar no controle estatístico de processo.

Com base nas cartas de controle é possível concluir parâmetros de grande importância para diferentes áreas, pois é possível calcular medida de posição central e de dispersão, também sendo possível a média e o desvio padrão (OPRIME et al., 2016).

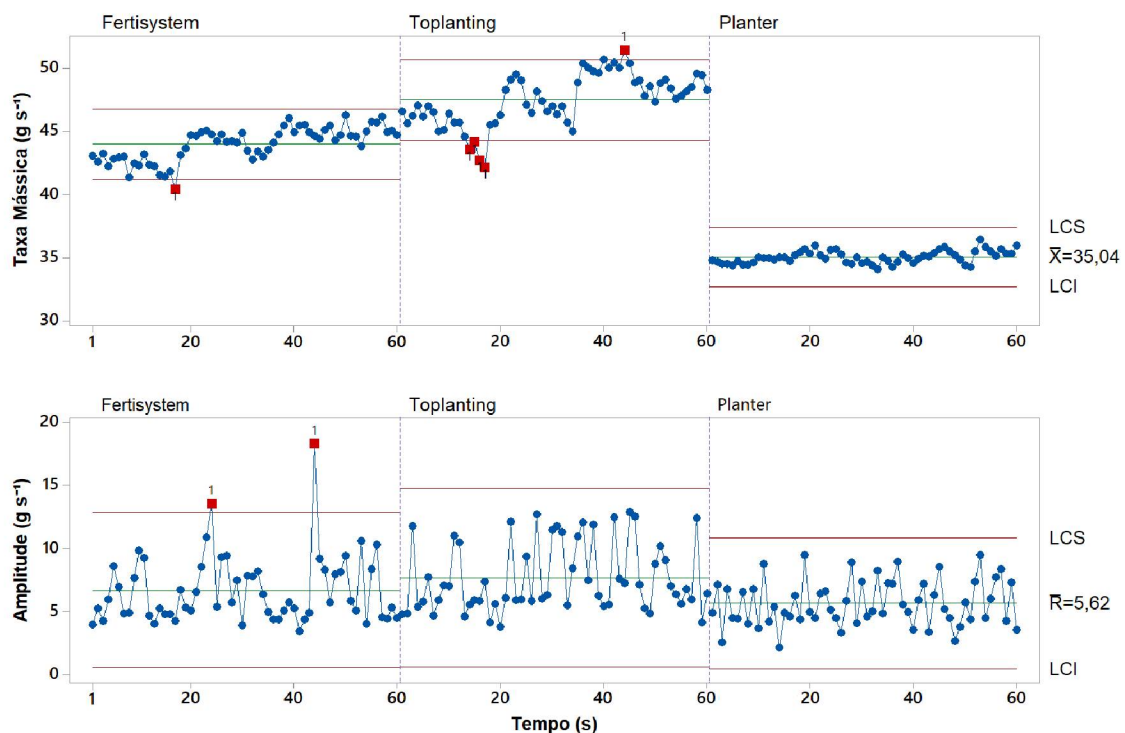
Nas Figuras 23 e 24 são apresentadas as cartas de controle das médias da TM para os fertilizantes granulados 04-14-08 e 04-30-10, respectivamente. Pode-se observar que a TM, para 04-14-08, não está sobre controle para o dosador Fertisystem e Toplanting, pois existem valores para ambos que ultrapassam os limites inferior e superior de controle, no caso do fertilizante 04-30-10, a TM também não está sob controle para os dosadores Fertisystem e Toplanting, pois para ambos

existe pelo menos um ponto que ultrapassa os limites determinados. Fato pode ser explicado pela diferente de granulometria entre os fertilizantes apresentada na TABELA 5, pois o 04-30-10 tem a granulometria mais uniforme que 04-14-08.

Na TABELA 8 verificamos que as médias da TM para os dosadores Fertisystem, Toplanting e Fertidoser, respectivamente, no fertilizante 04-14-08 foram: 43,99; 47,50 e 35,04 g s<sup>-1</sup>, sendo o limite de controle superior à média mais três vezes o desvio padrão, o controle superior foi 52,39; 57,73 e 40,80 g s<sup>-1</sup>, respectivamente, e o controle inferior (média menos três vezes o desvio padrão) de 35,59; 37,27 e 29,28 g s<sup>-1</sup> para o Fertisystem, Toplanting e Planter, respectivamente.

Para o fertilizante granulado 04-30-10 as médias dos dosadores Fertisystem, Toplanting e Fertidoser das TM foram: 39,16; 36,71 e 32,63 g s<sup>-1</sup>, os limites de controle superior: 46,78; 44,06 e 37,58 g s<sup>-1</sup> e inferiores: 31,54; 29,36 e 27,68 g s<sup>-1</sup>.

FIGURA 23 - VELOCIDADE 10,0 KM H<sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-14-08.



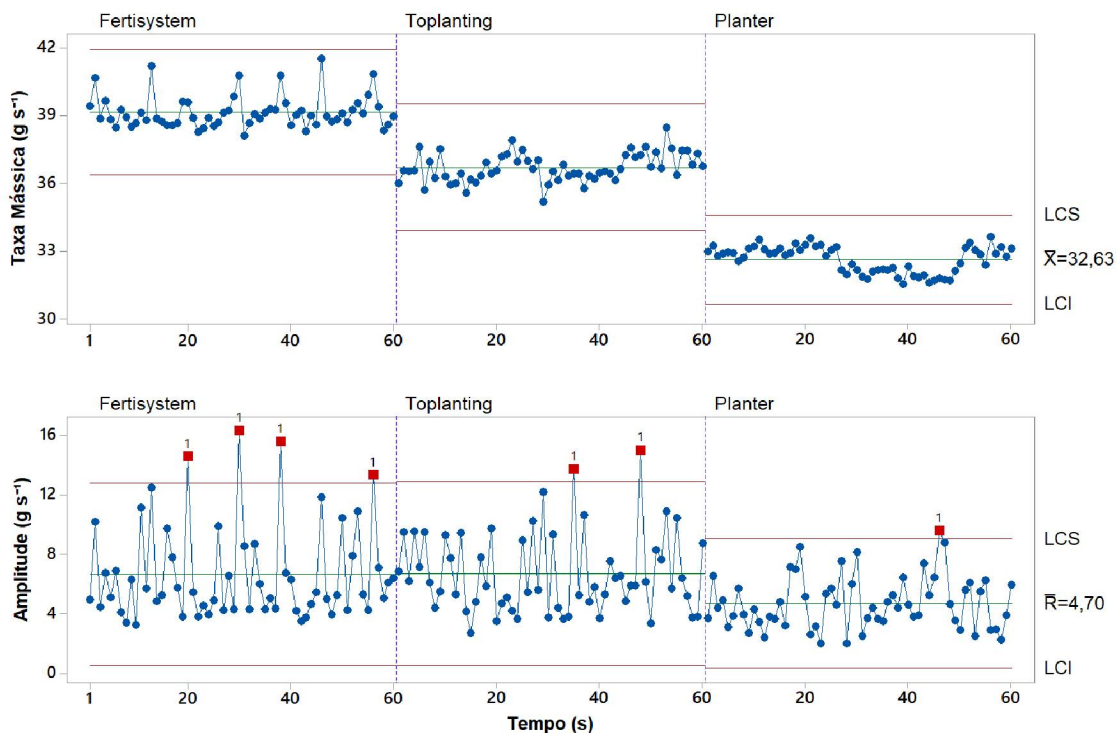
FONTE: Minitab (2017).

Na velocidade de 10,0 km h<sup>-1</sup> o único mecanismo dosador que teve melhor distribuição de fertilizante foi o Fertidoser, em vista que o Fertisystem e Toplanting apresentaram muitos pontos fora dos limites, mostrando que tem algum problema no sistema (FIGURA 23).



O Toplanting foi o mecanismo dosador que mostrou pior distribuição em alta velocidade, ou seja, sua precisão se torna pouco baixa, e isso pode ser explicado por ele possuir duas roscas helicoidais no seu funcionamento e com o giro do eixo mais rápido ambas carregam uma grande quantidade de adubo, sendo mais adequadas para baixas velocidades.

FIGURA 24 - VELOCIDADE 10,0 KM H<sup>-1</sup> COMPARANDO OS MECANISMOS DOSADORES PARA O FERTILIZANTE 04-30-10.



FONTE: Minitab (2017).

Analisando os três mecanismos dosadores no fertilizante granulado 04-30-10 é possível concluir que o Fertisystem e Toplanting apresentaram praticamente a mesma variabilidade, corroborando com a carta de controle da figura 24.

Bauer et al. 2014 observou que aumentando a velocidade de 4,8 km h<sup>-1</sup> para 7,1 km h<sup>-1</sup> não houve interferência na população de plantas, porém quando trata-se de fertilizante não são todos que podem se considerar a velocidade como responsável pela falha de distribuição.

O dosador Fertidoser foi o que apresentou maior amplitude, os valores ficaram bem próximos às linhas de controle, sendo possível concluir que em baixa velocidade o mecanismo não tem precisão.

Observa-se ainda que a carta de amplitude do mecanismo dosador Fertidoser corrobora com a taxa mássica, pois é calculada pela diferença entre as médias da maior vazão com a de menor (FILHO, A. C. & STORCK, L.; 2007) e nesse caso foi bem alto demonstrando pouca precisão.



#### 4 CONCLUSÃO

Com relação ao ângulo de repouso foi possível concluir que diferentes misturas de grânulos não possuem grandes variações, portanto, apresentou boa fluidez, menor coesão e excelente escoamento no reservatório.

O SAD foi preciso para os dois fertilizantes, para todas as velocidades analisadas o coeficiente de variação não ultrapassou 10%.

Em relação ao desempenho dos mecanismos dosadores com diferentes fertilizantes foi possível concluir que ambos apresentaram poucas variações, porém, a precisão de distribuição é determinada pela velocidade de operação.

Os mecanismos Fertisystem e Toplanting apresentaram melhor distribuição nas velocidades de 4,00 e 7,00 km h<sup>-1</sup>.

O Fertidoser na velocidade de 10,00 km h<sup>-1</sup> teve desempenho superior aos demais.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para trabalhos futuros sugere-se aplicar o SAD para avaliar a distribuição de fertilizante em diferentes inclinações longitudinais e transversais, vista que a estrutura foi construída para simular estas situações.

Ainda é possível substituir as helicoidais dos mecanismos dosadores para avaliar diferentes vazões de deposição e simular outras velocidades de operação.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. **Revista Anda**, Colombia, p. 35. 1989.
- ARAUJO, A. G. et al. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 226–237, 1999.
- BARROS, M. M. et al. Performance of a variable-rate distribution system for simultaneous fertilizer application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20 p. 188-192, 2016.
- BELLÉ, M. P.; et al. **Determinação do tempo de coleta para amostragem em dosadores de fertilizantes**. In: Primeiro Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas – APSul América. Não-Me-Toque, 2011.
- BIANCHIN, J. E.; BELLÉ, P. A. Fitossociologia e estrutura de um fragmento de Floresta Estacional Decidual Aluvial em Santa Maria – RS. **Revista Agroambiente Online**, v. 7, n. 3, p. 322-330, setembro-dezembro, 2013.
- BONOTTO, G. J. **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- BONOTTO, G. J. et al. Distribuição longitudinal de fertilizantes por dosadores de semeadoras-adubadoras em linhas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 368-378, 2013.
- BRANDT, M. A. **Projeto conceitual de um dosador de fertilizante granulado**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2010.
- CAMPOS, H. **Estatística aplicada à experimentação com cana-de-açúcar**. Piracicaba, FEALQ, p. 292, 1984.
- CARDINA, K. M.; et al. **Determinação do tamanho de amostra para ensaio de regularidade de vazão de dosadores de fertilizante**. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Cuiabá, MT, 2011.
- CARDOSO, M. L.; VASCONCELOS, M. B. S.; REIS, Â. V. Determinação do ângulo de repouso de fertilizantes. **XX Congresso de iniciação científica e III amostra científica**. Universidade Federal de Pelotas. 2011. 5 p.
- CARNEIRO, F. M. **Aplicação mecanizada de N-P-K individualizada na cultura da cana-de-açúcar**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.
- CHAKRABORTI, S. Parameter estimation and design considerations in prospective applications chart. **Journal of Applied Statistics**, v.33, n. 4, p. 439-459, 2006.

CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q. de. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 585-596, 2004.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, H. T. S. et al. Controle estatístico de processo aplicado à uma linha de medicamento tópico de uma indústria farmacêutica. **Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe**, 2017.

COSTA, J. A. S. et al. **Efeito da velocidade de deslocamento sobre as características operacionais de semeadoras**. Campinas: Instituto agrônomo, 1984, 13p. (Boletim Técnico n. 97).

CUNHA, R. F.; JARENTCHUK JUNIOR, O.; OLIVEIRA, F. A. Análise sedimentar e geomorfológica para compreensão da dinâmica fluvial local em ambiente de planície costeira na região Norte de Santa Catarina. **Revista Ra' e Ga**, Curitiba, v. 41, p. 20-36, 2017.

CUSTODIO, C. J. S. et al. Fatores que contribuíram para o crescimento da produtividade do milho no Brasil. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**. Barra do Garça, v. 1, n. 15, p. 174-179, 2016.

FERREIRA, M. F. P. et al. Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.18, p.297-304, 2010.

FERREIRA P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. Maceió, EDUFAL. p. 437, 1991.

FIALHO, E. R. dos. Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Cuba, v.16, n.3, p.70-75, 2007.

FILHO, A. C.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p.17-24, jan. 2007.

FURLANI, C. E. A. et al. Demanda energética por semeadora-adubadora em função da haste sulcadora na semeadura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 885-889, nov/dez, 2013.

GARCIA, A. P. **Desenvolvimento de um sistema de controle eletromecânico para dosador de fertilizantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Máquinas Agrícolas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GARCIA, A. P. **Sistemas de controle fuzzy para dosadores helicoidais de fertilizantes com acionamento elétrico**. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Máquinas Agrícolas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

GODOY, C. **Uma aplicação do planejamento de experimentos e carta de controle em uma indústria de cosméticos: ciclo DMAIC**. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, Bauru, 2014.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Degaspari. p. 477, 2000.

GRISA, C.; SCHNEIDER, S. **Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Agrícola** – Fevereiro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Gráficos de histórico climático para o estado do Paraná**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/abre-graficos.php>>. Acesso em: 28/janeiro/2019.

KEMPSKI, L. A. **Construção de uma bancada de ensaio para avaliação de mecanismos dosadores de sementes**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

KLAVER, P. P. C. **Programa computacional para otimização da lastragem de tratores agrícolas**. 80 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013.

KLEIN, V. A. et al. Velocidade de semeadura de trigo sob sistema plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 7, n. 2, p. 150-156, 2008.

LUZ, P. H. C et al. Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 129, p. 1-13. 2010.

MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.150-157, 2004.

MANTOVANI, E. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação em campo de um semeadora-adubadora para semeadura de milho de alta densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 38-48, 2015.

MARTINS, M.M. **Desenvolvimento de um dosador helicoidal visando sua utilização em equipamentos de aplicação localizada de fertilizantes sólidos**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MELLO, L. M. M. et al. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p.563-567, 2003.

NASSER et al. Análise econômica da produção de café arábica em São Sebastião do Paraíso, estado de Minas Gerais. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, p. 17-19, 2012.

OPRIME, P. C. et al. Método de estimativa dos limites da carta de controle não paramétrica que monitora simultaneamente a média e variância. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 23, n. 1, p. 146-164, 2016.

PEREIRA, L. S. et al. Agrobiodiversidade em quintais como estratégia para soberania alimentar no semiárido norte mineiro. **Revista Ethnoscience**, Botucatu, v. 2, n. 1, 2017.

RAMOS, M. R. **Uso do sensor kinect para medir a regularidade na distribuição de fertilizantes sólidos**. 87 p. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012.

REYNALDO, É. F. **Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes níveis de nivelamento longitudinal e transversal**. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2013.

REYNALDO, E. T. et al. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da fração granulométrica. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, n. 13, p. 487-494, 2016.

SCHULZ, R. E. H. **Projeto detalhado e construção do protótipo de uma Semeadora-adubadora de uma linha para agricultura familiar**. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2010.

SEKI, A.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional de semeadora e produtividade do milho em plantio direto e cultivo mínimo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 1-18, jan./mar. 2012.

SILVA A. R. et al. Avaliação do coeficiente de variação experimental para caracteres de frutos de pimenteiras. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.2, p. 168-171, mar./abr., 2011.

SILVA, G. A. da. The effect of the physical properties of particles of bulk-blended fertilizers on segregation by coning. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 100, Set. 1997.

SILVA, J. E. R. da et al. Controle estatístico de processo em pulverização hidropneumática na cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 11-21, jan./mar. 2016.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas para plantar: aplicadores, distribuidoras, semeadoras, plantadoras e cultivadoras**. 1 ed., Rio de Janeiro: Globo, 1989.

SILVEIRA, J. C. M. et al. Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.3, p. 293-298, mai/jun. 2011.

STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, p. 200, 2011.

SOUSA, L.F.R.A.; SILVA, W.A.; SILVA, R.V. Desenvolvimento de um aplicativo computacional para a recomendação de adubação e calagem para a cultura do milho (*Zea mays L.*) no estado do Maranhão, Brasil. **Revista Agroecossistema**, Pará, n. 3, p. 36-40. 2011.

SOUZA, R. F. de. et al. Efeito de idade e sítio no ajuste de funções probabilísticas para altura de *Mimosa scabrella*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 2, p. 271 - 280, abr/jun. 2013.

VALE, W. Gonzaga.; et al. Caracterização estatística de variáveis usadas para ensaiar uma semeadora-adubadora em semeadura direta e convencional. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 559-567, 2009.

VASCONCELOS, M. B. S. **Desenvolvimento de um dosador de fertilizantes com dupla saída**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores em semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine Max I*)**. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap. 2, p.319-344.

ZERBATO, C. Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.21, n.3, maio/jun 2013.

ZIECH, R. O. **Modelagem matemática da dinâmica de um sistema dosador de adubo à taxa variável com acionamento hidráulico**. 115 p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Departamento de Ciências Exatas, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2017.